أنشاء الأنفاق

مهندس / محمود حسين المصيلحي

المدير العام (السابق) بشركة المقاولون العرب – مهندس استشاري

وقــل ربي زدني علمــا



تخطيط الأنفاق

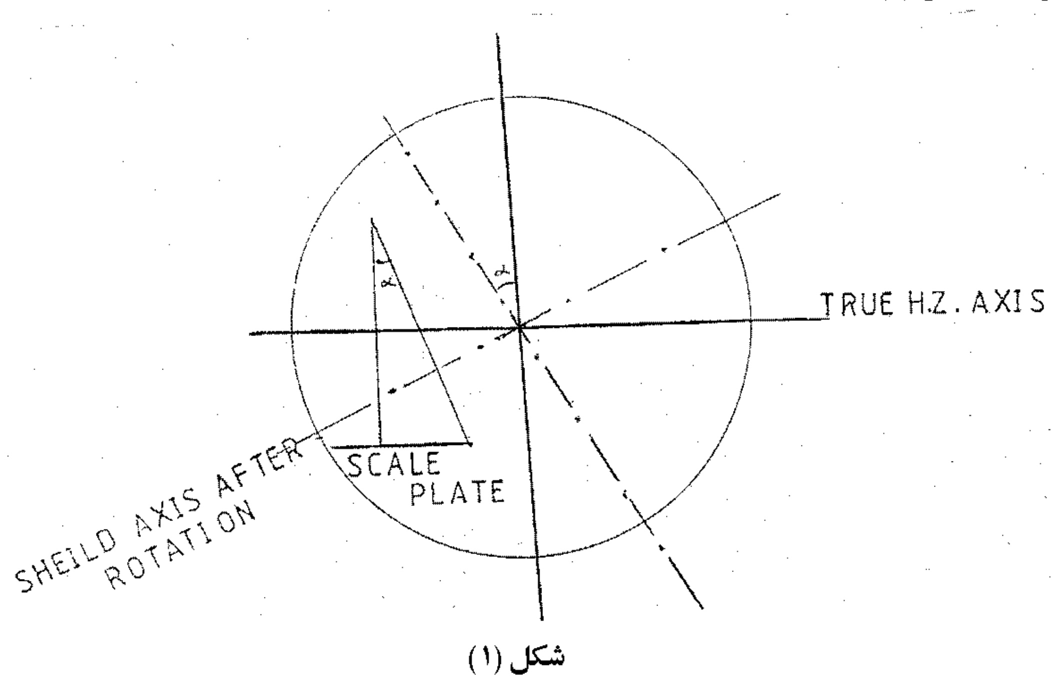
الأعمال المساحية و تخطيط محور النفق :

قبل الخوض في أي تفاصيل – يجب معرفة بعض التعريفات :

١ – زاوية دوران الدرع (مقدمة الحفارة) : Roll

هي حركه دوران الدرع حول المحور الأفقي (دوران الدرع حول نفسها) . و يمكن قياس هذه الزاوية عن طريق البلتة و خيط الشاغول المثبتين بالدرع . و يفضل دائما أن تكون زاويه الدوران = صفر و ذلك حتي يمكن تلاشي ما قد يحدث من الحركات الأخري .

و يفضل أن يكون طول خيط الشاغول مساويا لنصف قطر الدرع حتي يعطي أنطباع حقيقي لقيمه هذا الأنحراف – شكل (١) .



شكل (١)

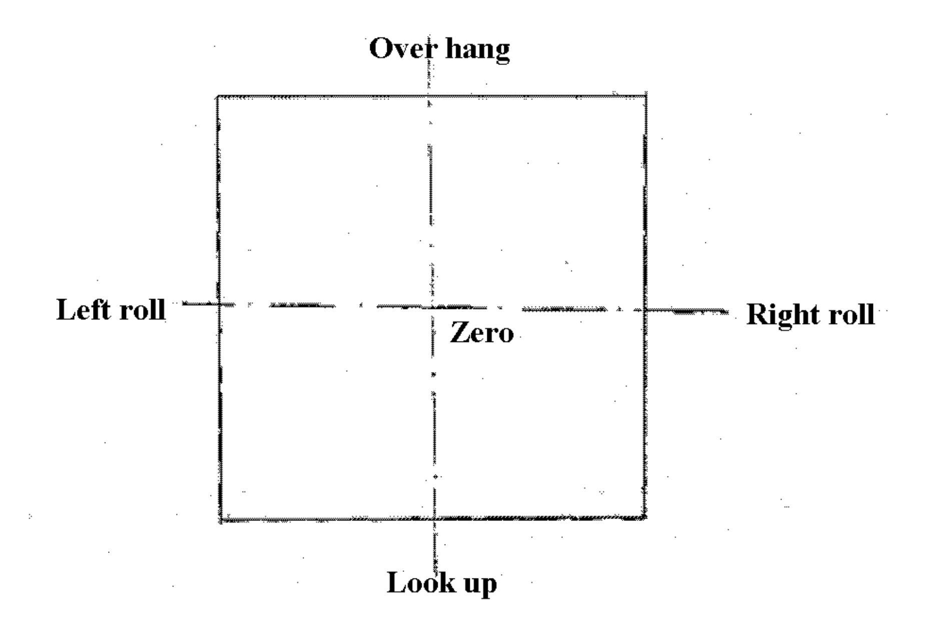
خيط الشاغول والدرع والبلتة

في حالة صعوبة ذلك – يمكن معرفه العلاقة بين طول الخيط المستخدم و نصف قطر الدرع كما يلي :

قيمة زاوية دوران الدرع = قراءه البلته × طول نصف قطر الدرع ÷ طول الخيط المستخدم .

٢ – ميل النفق : Look up And Over hang

ينفذ النفق مثل أي خط أنحدار – أي طبقا للميل التصميمي – فيأخذ الدرع نفس زاويه الميل . فأذا كان الميل لأعلي فيسمي Look up و أذا كان الميل الي أسفل فيسمي Over Hang . يقاس الميل (الي أعلي أو الي أسفل) عن طريق خيط الشاغول و البلته المذكوره و ذلك علي المحور المتعامد علي المحور الطولي للدرع – و هو ما يعرف بالPlump – شكل (٢) مع ضروره الأخذ في الأعتبار أن القيمة المعطاة هي نصف القيمة الحقيقية و ذلك لأن طول خيط الشاغول يساوي نصف قطر الدرع .



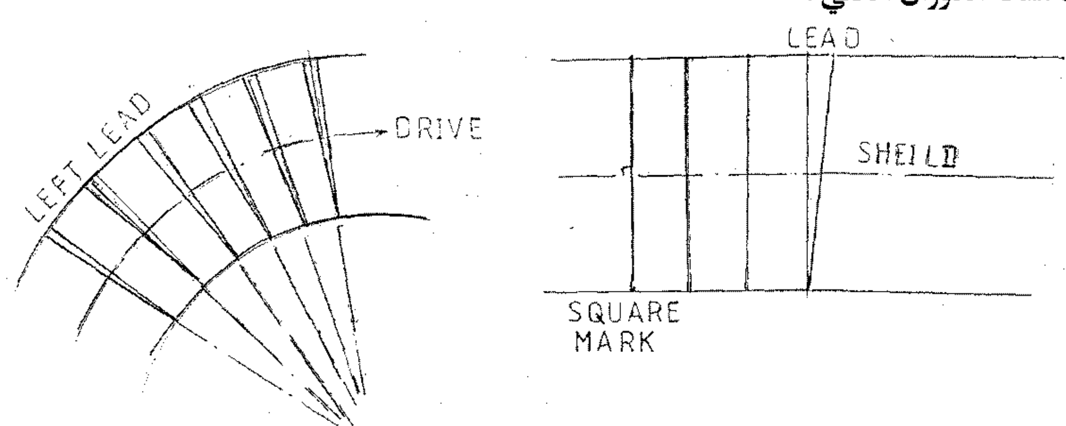
شكل (٢)

Roll and Plump Plate

٣ – مسافة الدوران الأفقي : Lead

عند دخول الدرع الي المنحنيات (متيامن أو متياسر) – فأن المسافه بين الحلقتين المأخوذتين علي القوس الخارجي للنفق هي ما تسمي بمسافه الدوران – شكل (٣) . ويلاحظ أن مسافه الدوران = صفر أذا كان النفق مستقيما .

حساب مسافة الدوران الأفقي :



شكل (٣)

مسافة الدوران الأفقي

مسافه الدوران الأفقي = ظا Θ × طول الحلقة وتختلف هذه المسافة من حلقة الي أخري.

٤ - لوحه الهدف - لوحة أستقبال أشعه الليزر Orientation Target

و هي اللوحة التي يتم تثبيتها في مكان آمن بالدرع الأمامي و يمكن من خلالها معرفه قيمة الأنحراف عن المحور و كذلك قيمة مسافة الدوران حتي يمكن أختيار الوضع الصحيح للحلقة الي سيتم بناؤها .

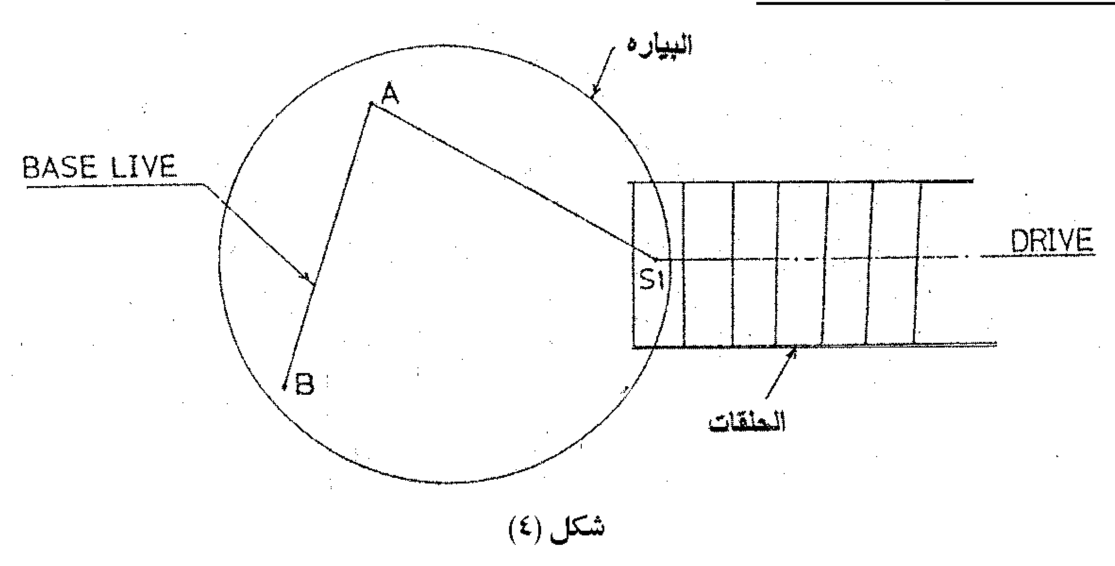
٥ - النقاط المساحية : Survey Stations

هي النقاط المساحيه التي يتم أختيارها و التي تتحكم في توجيه الدرع . و هذه النقاط يتم معاملتها مثل شبكه المثلثات من الدرجه الثانيه و ذلك لقياس الزوايا و المسافات و لحساب أحداثيات تلك النقط .

٦ - نقاط أشعة الليزر : Laser Stations

و هي الأماكن التي يتم أختيارها لتثبيت جهاز الليزر علي نفس الخط المساحي و نفس الميل . كما تكون تلك النقاط لها نفس العلاقه مع المحور الرأسي و المحور الأفقي للحلقه و محاور الدرع .

٧ - خط القاعدة : Base Line



شكل (٤)

خط القاعدة داخل البيارة

أن العمل يحتاج الي حسابات دقيقة وهي :

١ - حساب وتصحيح الترافيرس الذي يغطى المشروع .

٢ - ربط مراكز البيارات Shafts مع شبكة المثلثات قبل وبعد عملية تغويص البيارة وذلك لتصميم المسار الأمثل للنفق .

٣ – حساب الـ **Offsets** وذلك في المسار المنحني .

لبداية العمل في النفق لا بد من عمل خط قاعده **Base Line** و هو عباره عن نقطتين مساحيتين **A & B** يتم وضعهما علي أرضيه البياره و حساب أحداثياتهما . توضع نقطة مساحيه **S١** في أول حلقة للنفق – شكل (٤) و حساب أحداثياتها . من خط القاعده المنشأ ، يتم أخذ أتجاه النفق وكذلك الأنحراف المطلوب مع ضروره مراعاه قيمة مسافة التوجيه **Offset** وذلك عندم يكون محور الدرع موازيا لمحور النفق .

٨ – مركز المنحني : Curve Center(C.C)

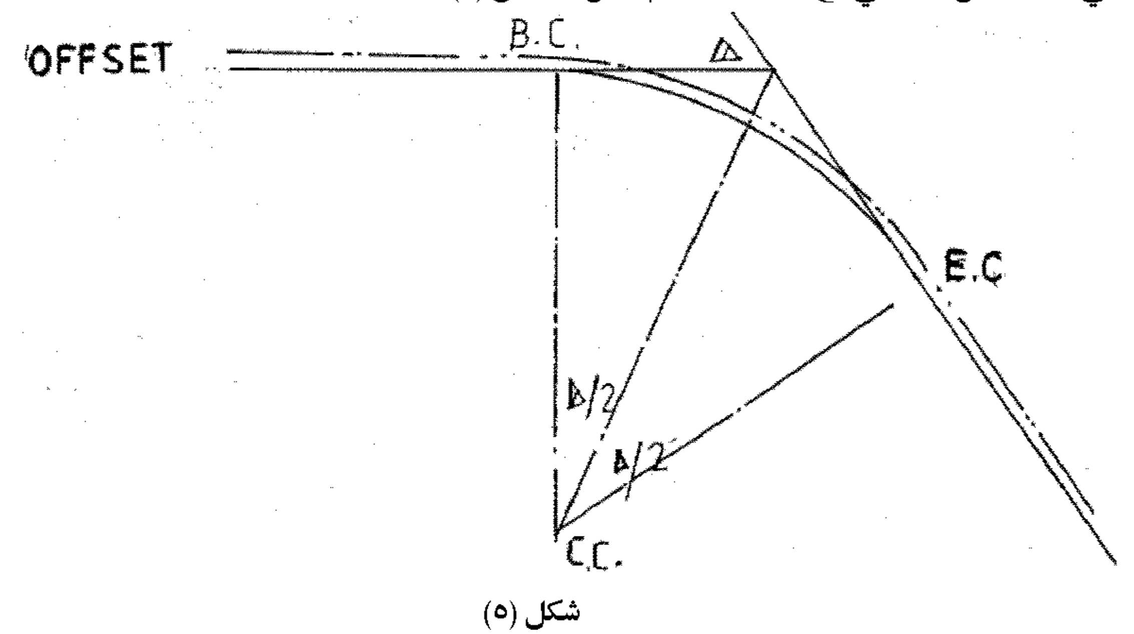
هو مركز أنحناء منحني النفق .

٩ – نقطة بداية المنحني : Beginning Curve Point (B.C)

هي نقطه تماس الخط المستقيم للنفق مع منحني النفق .

١٠ – نقطة نهاية المنحني : End Curve (E.C)

هي نقطة تماس المنحني مع الخط المستقيم للنفق – شكل (٥) .



شكل (٥)

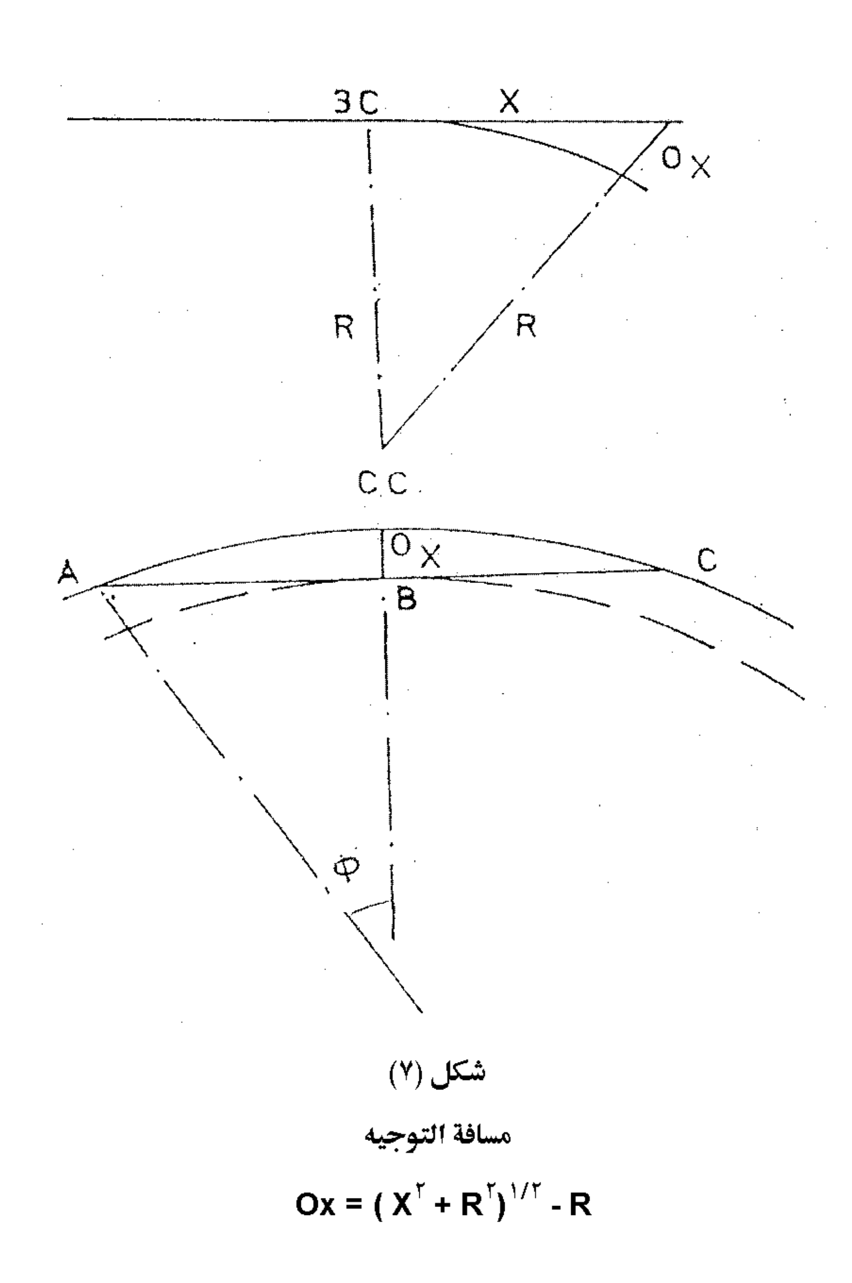
مركز – بداية ونهاية المنحني

١١ – مسافة التوجيه : Offset

هي المسافة بين مركز حامل التوجيه و المحور الرأسي للدرع . و في الخط المستقيم تكون المسافه بين حامل التوجيه و المحور الرأسي للدرع مساويا للمسافه بين الجهاز و المحور الرأسي للنفق و يكون شعاع التوجيه علي صفر التدريج .

أما في حالة المنحني فأن المسافة بين شعاع التوجيه و المحور الرأسي للدرع غير مساوية للمسافة من محور الجهاز الي المحور الرأسي للنفق – شكل (٦) .

و يجب أن تكون أكبر قيمه لمسافة التوجيه مساوية لنصف قيمة حامل التوجيه من الأتجاهين . و يجب ألا نستخدم القانون المستنتج السابق لمسافات كبيره حيث أننا نهمل الجزء $Y^٢ / ٢R$ و بالتالي يتحول من جزء من دائره الي قطع مكافيء . و يمكن حساب مسافة التوجيه **Offset** كما يلي – شكل (٧) :



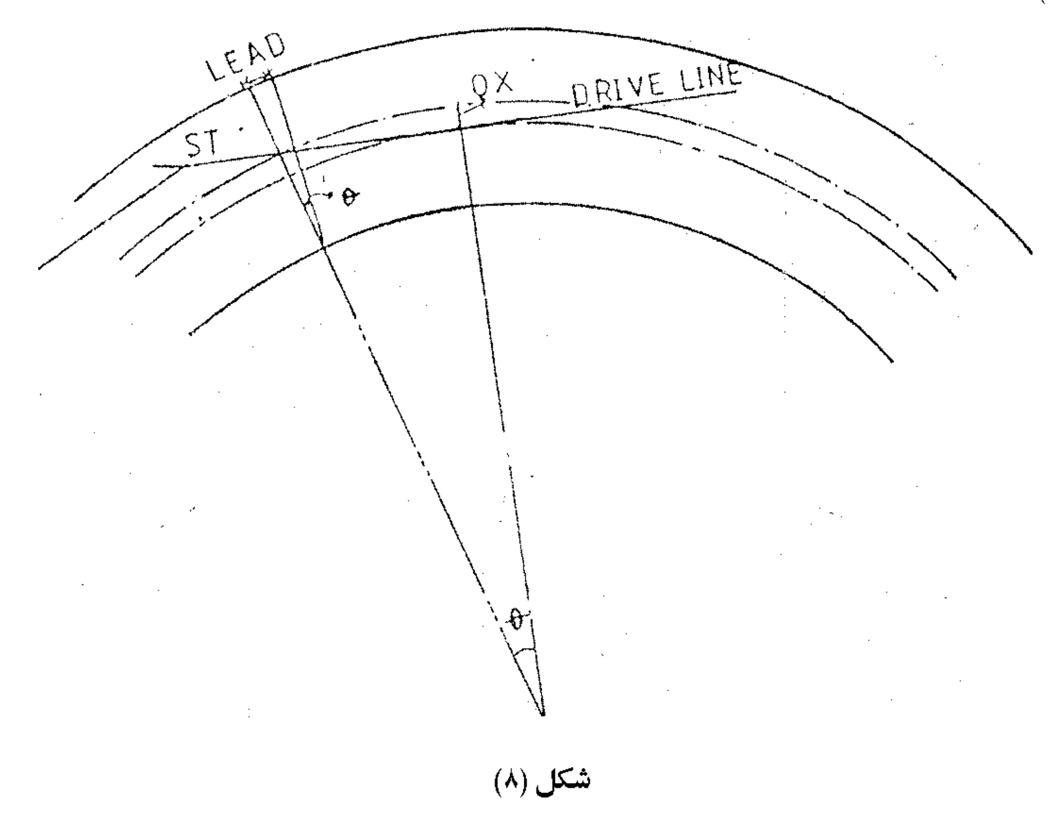
شكل (٧)

مسافة التوجيه

$$Ox = (X^٢ + R^٢)^{١/٢} - R$$

١٢ – حساب قيمة : (Lead)

شكل (٨) .



شكل (٨)

حساب قيمة (Lead)

مسافه الدوران الأفقي (Lead) = ظا Θ × طول الحلقة . وتختلف هذه المسافة من حلقة الي أخري.

مسافة التوجيه

المراحل التي تمر بها الماكينة من الأنزال و الضبط :

١ – تحديد محاور الماكينة – و يمكن أن يتم ذلك قبل نزول الماكينة الي البيارة . تضبط الماكينة في وضع أفقي تماما باستخدام ميزان مياه أو ميزان القامة و ذلك بأخذ ٤ قراءات علي اركان أكبر لوح معدني في بطنية الدرع .

٢ – يحسب قيمة نصف قطر الدرع الفعلي ثم يثبت شريط في وضع أفقي ثم باستخدام خيط الشاغول يمكن تحديد المحور الرأسي للماكينة عن طريق ضبط الشريط علي قراءه نصف القطر و أخذ علامتين أعلي و أسفل علي نهاية الدرع Tail Skin .

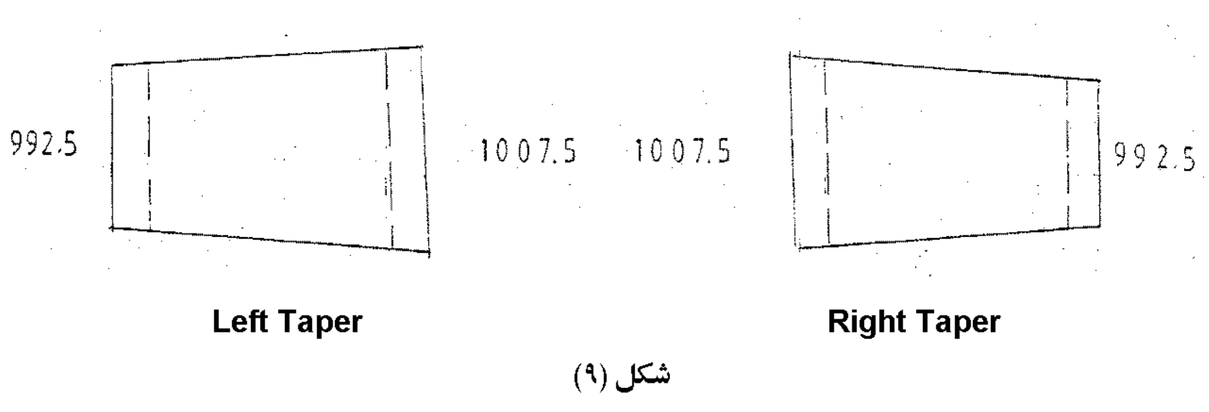
٣ – يجري تعليم المحور الأفقي علي الجانبين علي نهايه الدرع مع استخدام ميزان قامه لبيان منسوب نقطة منتصف المحور الرأسي ثم توقيع النقطتين علي جانبي الدرع علي أفقيه واحده . هاتان النقطتان يمثلان المحور الأفقي للدرع .

٤ – ترفع الماكينة ثم يتم تنزيلها أسفل البيارة مع ضبطها و بحيث تكون مهيأه للحركة و علي ميل النفق تماما .

كيفية بناء الحلقة :

أولا : بناء الحلقه في النفق المستقيم :

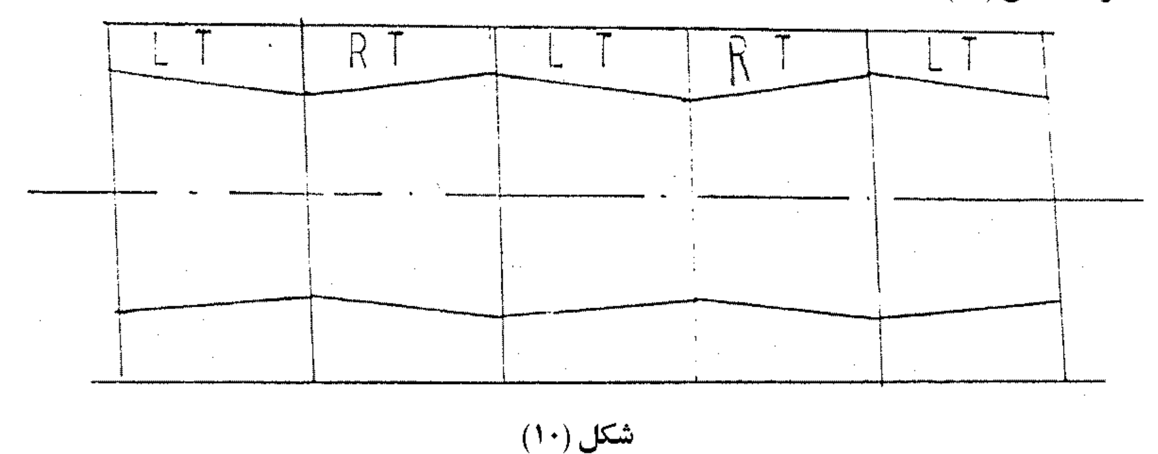
من الملاحظ أن شكل الحلقه علي هيئه شبه منحرف و أن جانبي الحلقة غير متساوين و يطلق عليه الحلقة المشطوفة **Taper Ring** ووجد أن الفرق بينهما = ١٥ مم – شكل رقم (٩) . و لبناء النفق في الأتجاه المستقيم ، يجب



شكل (٩)

الحلقة المشطوفة

أستخدام حلقة متيامنه و حلقه متياسره حيث أن الحلقه المتيامنه تعطي لنا مسافه دوران يسري **Left Lead** مقدارها ١٥ مم . و يمكن أن نلاشي مسافه الدوران الحادثه باستخدام حلقه متياسره تعطي لنا مسافه دوران يمني **Right Lead** مقدارها ١٥ مم و علي ذلك يتم بناء الحلقات بأن تكون حلقة متيامنه مجاورة لحلقة متياسرة – شكل (١٠) .



شكل (١٠)

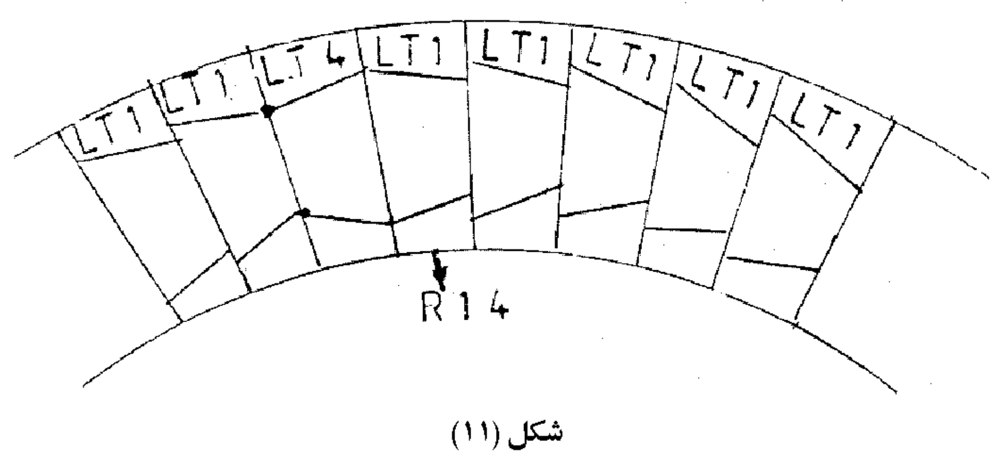
بناء الحلقات في النفق المستقيم

ثانيا : بناء الحلقة في المنحنيات :

من المعروف أن المنحنيات المستخدمة في الأنفاق ، تعتمد علي قيمة نصف القطر . الأمثلة التالية توضح ذلك :

مثال (١) : منحني قطر ٢٠٠ متر (متياسر) :

بحساب مسافه الدوران Lead نجد أنها تساوي ١٣ مم . و يمكن أستخدام الحلقات المشطوفة اليسري Left Taper Ring . و ببناء العدد المناسب من الحلقات المذكوره يتم تشكيل الدوران المطلوب . و في المنحنيات المتيامنه – تستخدم الحلقات المشطوفة اليسري – شكل (١١) .

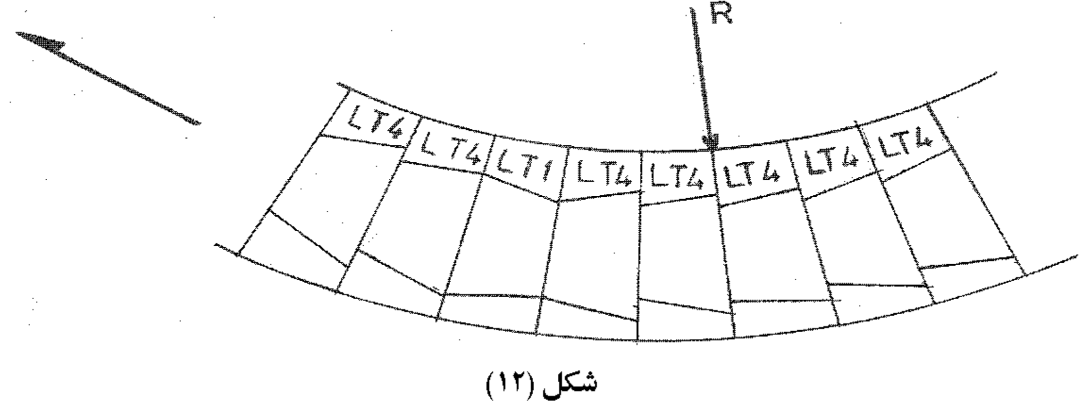


شكل (١١)

منحني متياسر

منحني قطر ٢٠٠ متر (متيامن) :

في المنحنيات المتيامنة نجد أن مسافة الدوران متياسر وبذلك يمكن أستخدام ١٤ حلقة ٤ LT + حلقة واحدة ١ LT – شكل (١٢)



شكل (١٢)

منحنيات ذات قطر ٢٠٠ متر

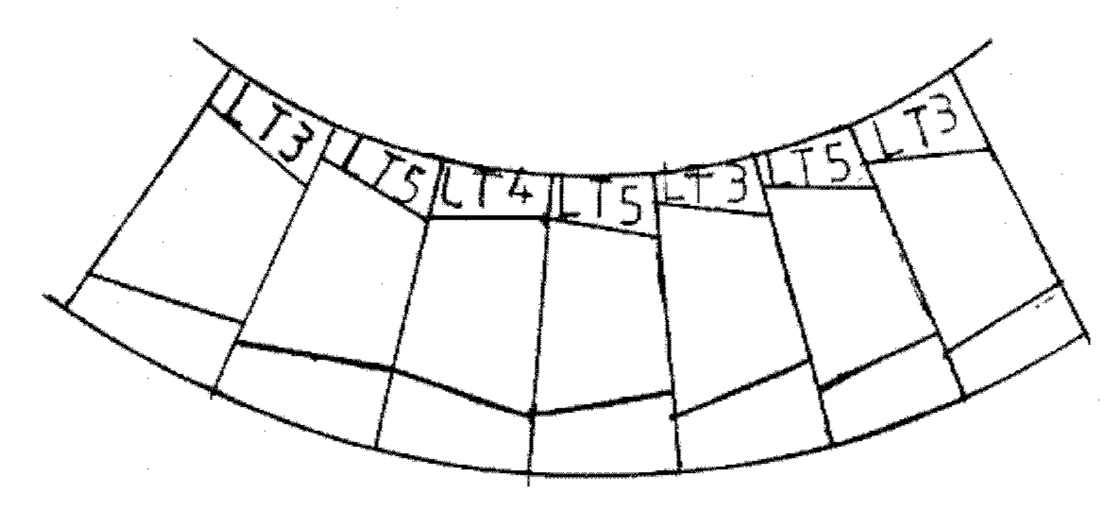
منحني متيامن

مثال (٢) : منحني قطر ٣٠٠ متر (متياسر)

بحساب مسافة الدوران (Lead) نجد أنها = ١١مم . في هذه الحــاله يتم بناء ٦ حلقات LT١ ثم تبني حلقة LT ٤ . يستمر العمل بهذا المنوال .

مثال (٣) : منحني قطر ٣٠٠ متر (متيامن)

بحساب مسافة الدوران نجد أنها = ١١مم . في هذه الحــاله يتم بناء ٦ حلقات LT٤ ثم تبني حلقة ١ LT . يستمر العمل بهذا المنوال – شكل (١٣) .



شكل (١٣)

منحني ذا قطر ٣٠٠ متر

منحني متيامن



حوائط الديافرام

حوائط الديافرام

Diaphragm Walls

هي عنصر أساسي في تنفيذ الأنفاق والأعمال التالية :

١ – تنفيذ الأنفاق بالحفر المكشوف .

٢ – تنفيذ الأنفاق بتقاطعات الطرق Subways .

٣ جميع المحطات المنشأة علي كافة أنواع أنفاق المواصلات .

٤ – مداخل ومخارج أنفاق المواصلات .

٥ – الأنشاءات الأخري تحت الأرض مثل البدرومات – محطات رفع الصرف الصحي – الجراجات ٠٠٠

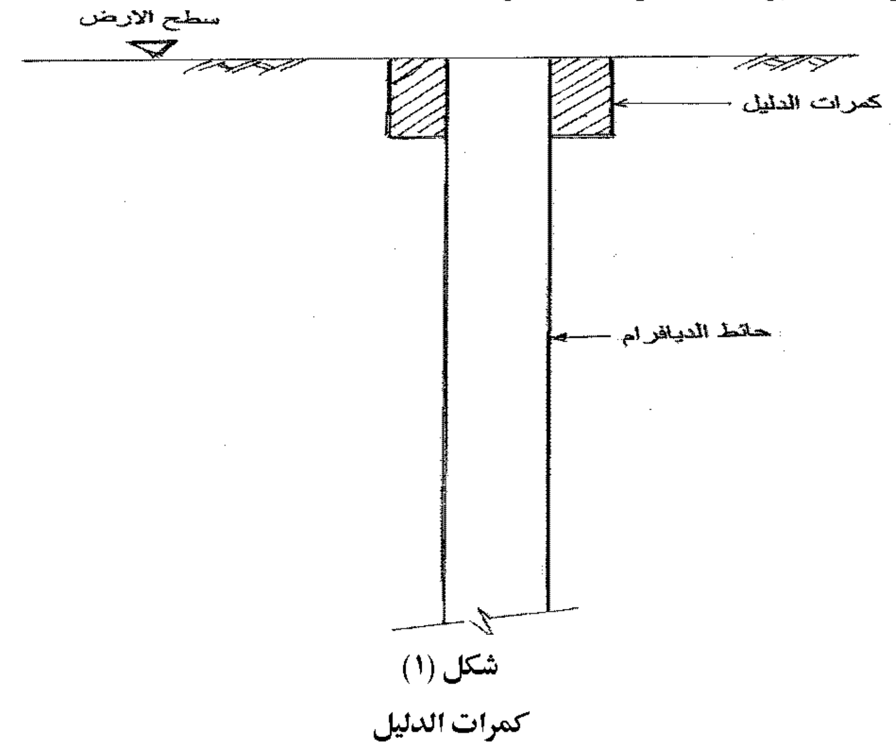
تأخذ حوائط الديافرام القطاع المستطيل أو القطاع الدائري وينفذا بطريقة واحدة .

تنفيذ حوائط الديافرام :

التخطيط والحفر :

١ – تخطيط محور النفق ومن ثم محاور حوائط النفق .

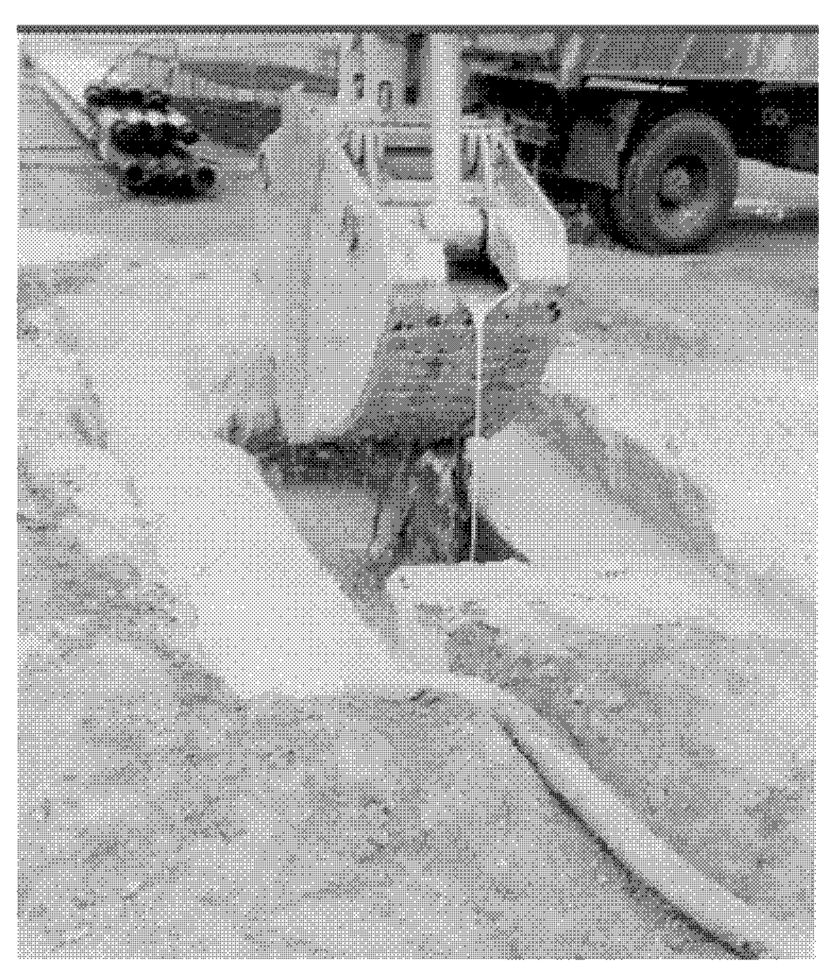
٢ – أنشاء كمرات الدليل Guide Walls – شكل (١) ، وهي المحددة لحفر حوائط الديافرام ، المسافة بين الكمرتين = سمك حائط الديافرام + ٥ سم . الغرض من أنشاء هذه الكرات هو أنشاء الحوائط علي المحور تماما وكذلك تعتبر دليلا للحفارة أثناء الحفر .



شكل (١)

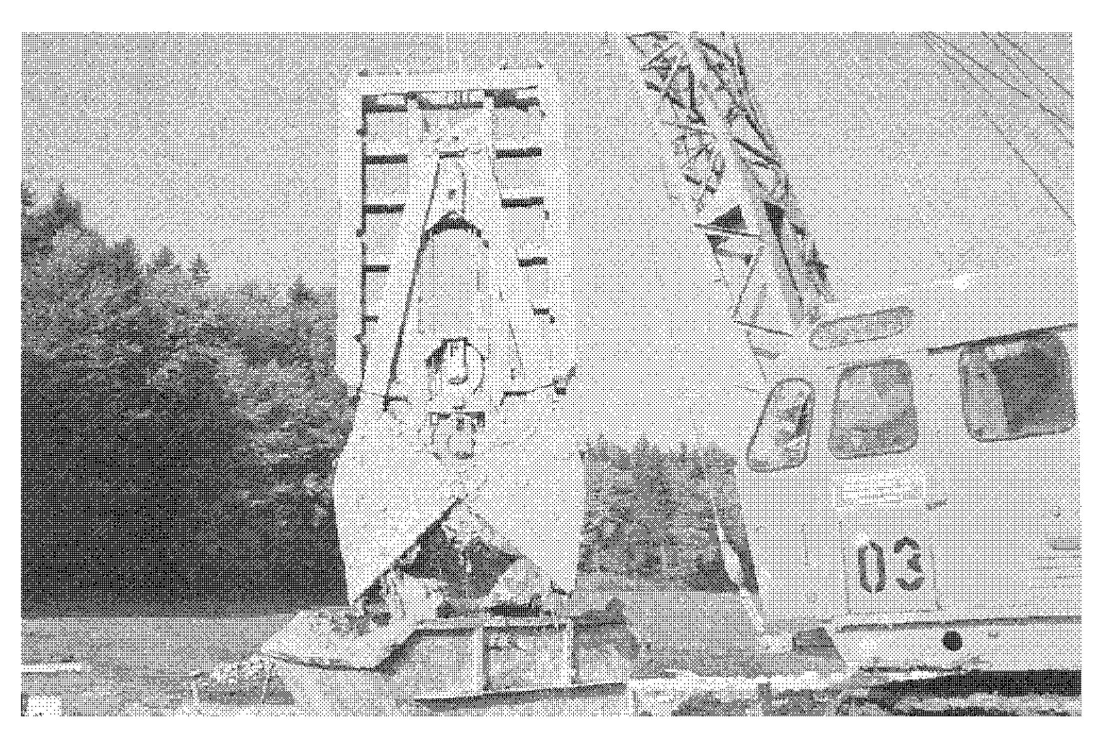
كمرات الدليل

٣ – الحفر بين كمرات الدليل المدفونة بواسطة حفارة حوائط الديافرام حتي العمق التصميمي للحائط وبالعرض والسمك المطلوب – شكل (٢) . تكون حوائط الديافرام سابقة الصب وتكون في أحوال أخري مصبوبة بالموقع – (مثل حالة محطات القطارات).



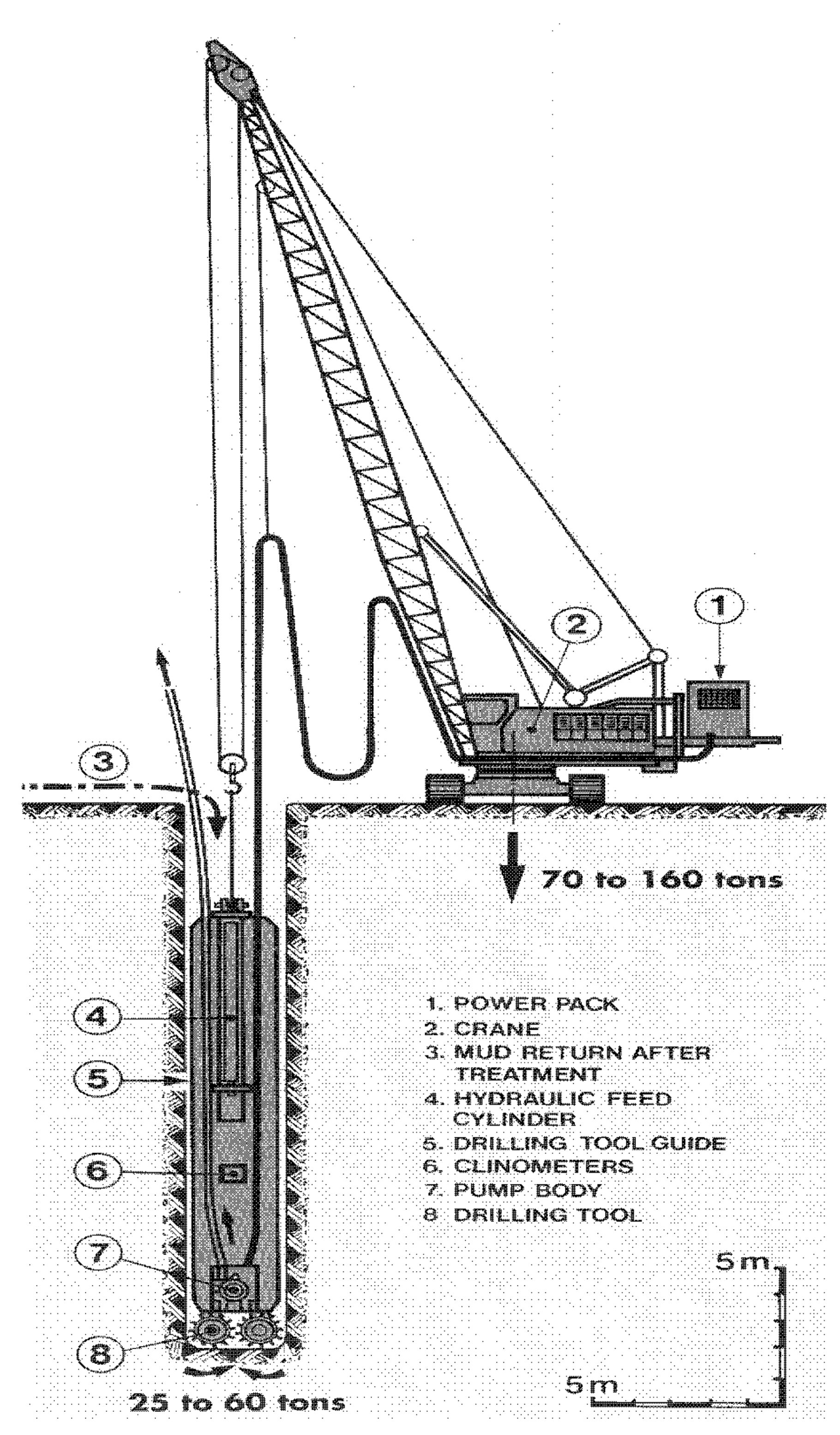
شكل (٢)

حفارة الحوائط اللوحية أثناء التنفيذ – من الطبيعة



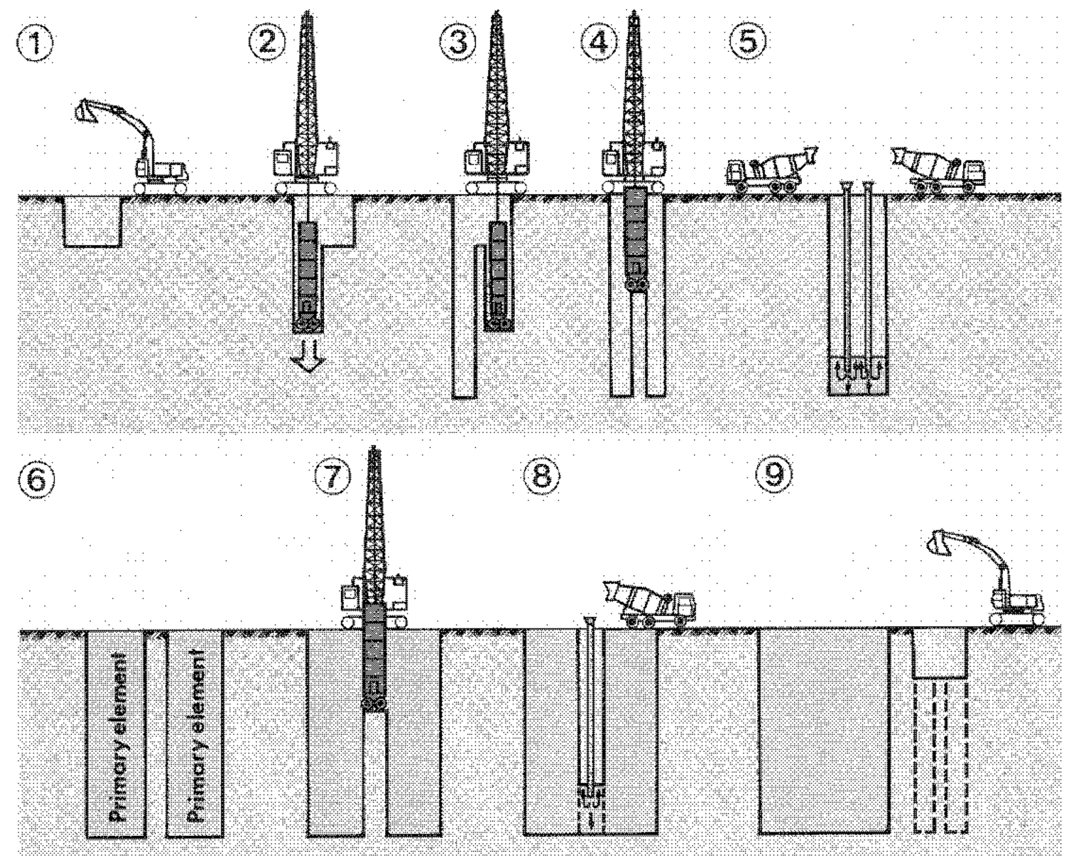
تابع شكل (٢)

حفارة حوائط الديافرام (طراز آخر)



شكل (٢)

حفارة حوائط الديافرام أثناء الحفر



١ – وضع الدليل الخرساني – البدأ في الحفر .

٢ – الحفر بعرض الحائط الأول .

٣ – أستكمال الحفر وتعميقه .

٤ – الأنتهاء من الحفر والوصول إلى المنسوب النهائي.

٥ – وضع حديد التسليح ثم صب الحائط الأول .

٦– حفر الحائط الثالث والتسليح ثم الصب .

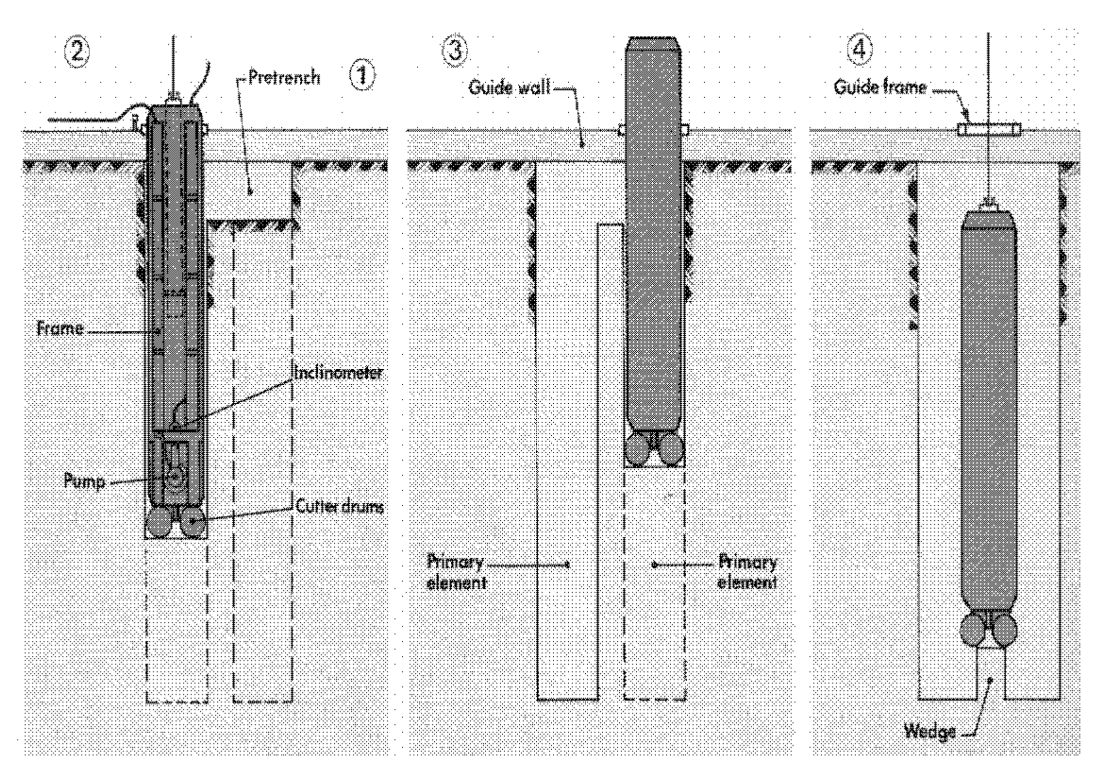
٧ – حفر الحائط الثاني (بعد فترة كافية تتصلد فيها الخرسانة للحائط الأول والثالث) حتي المنسوب المطلوب .

٨ – تسليح ثم صب خرسانة الحائط الثاني .

٩ – الأستمرار في تنفيذ باقي المنشأ بنفس الطريقة .

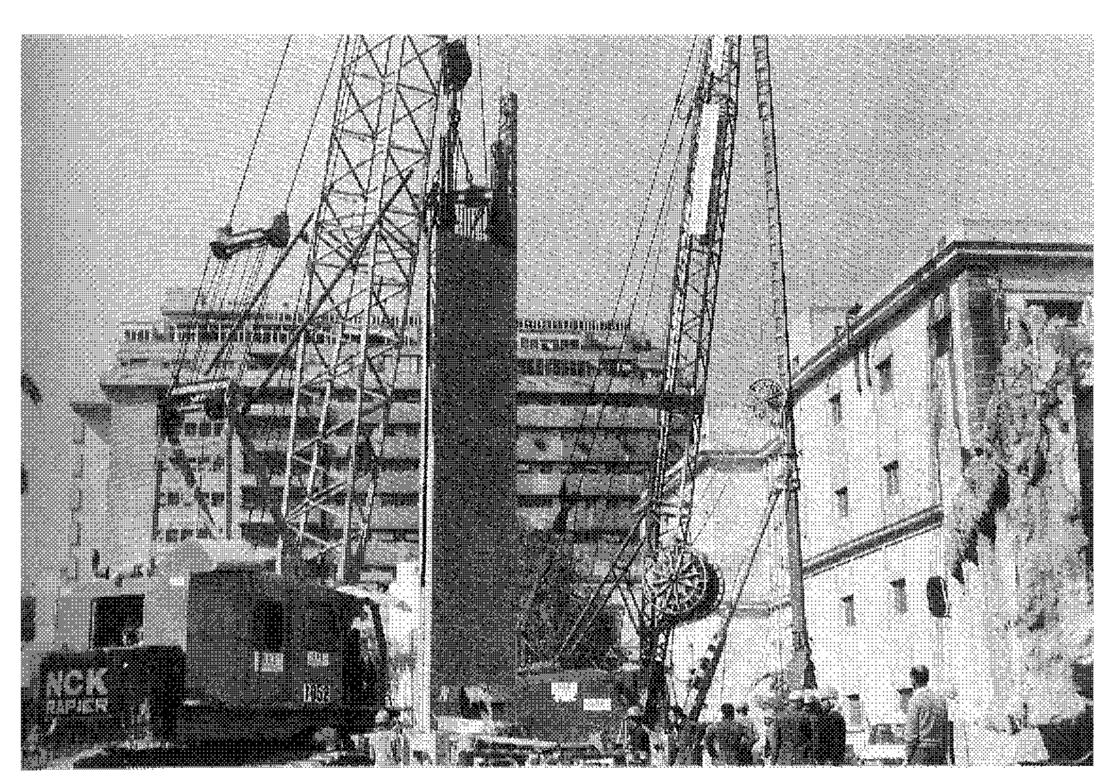
تابع شكل (٢)

خطوات العمل في تنفيذ حوائط الديافرام



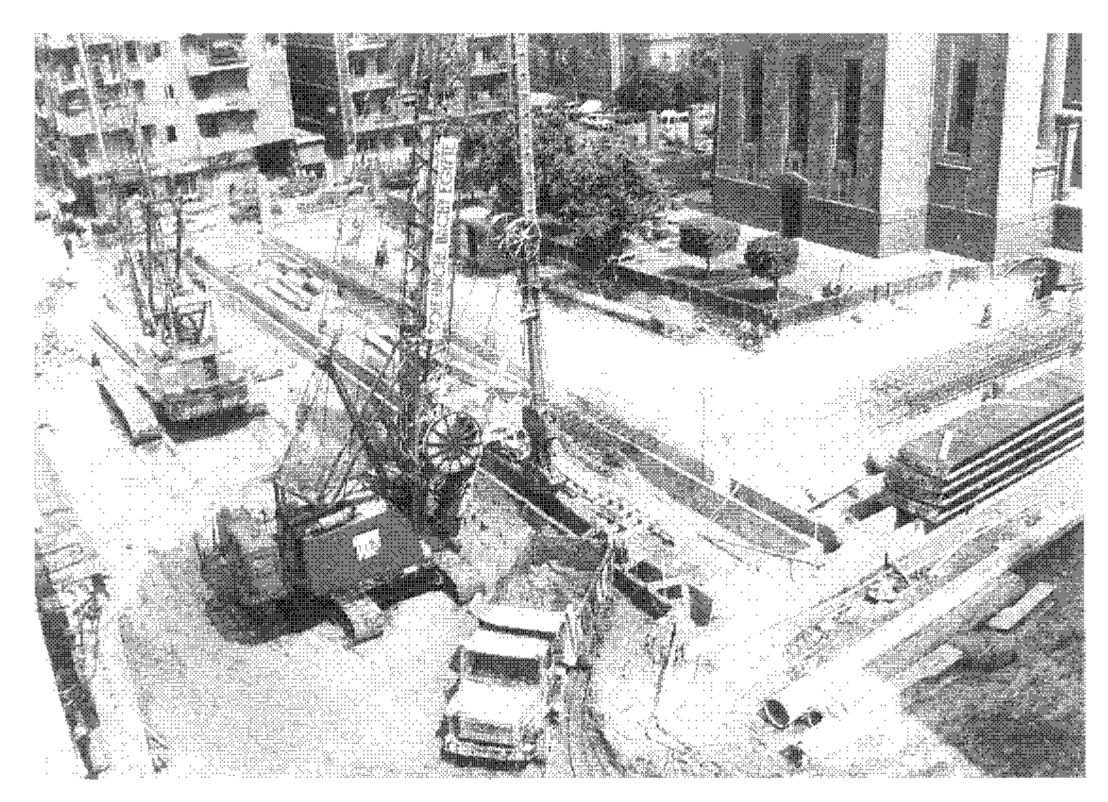
تابع شكل (٢)

تفاصيل تتابع أعمال تنفيذ حائط الديافرام



تابع شكل (٢)

حائط ديافرم سابق الصب – مترو أنفاق القاهرة – المرحلة أولي



تابع شكل (٢)

أنشاء حائط الديافرام (مصبوب بالموقع)

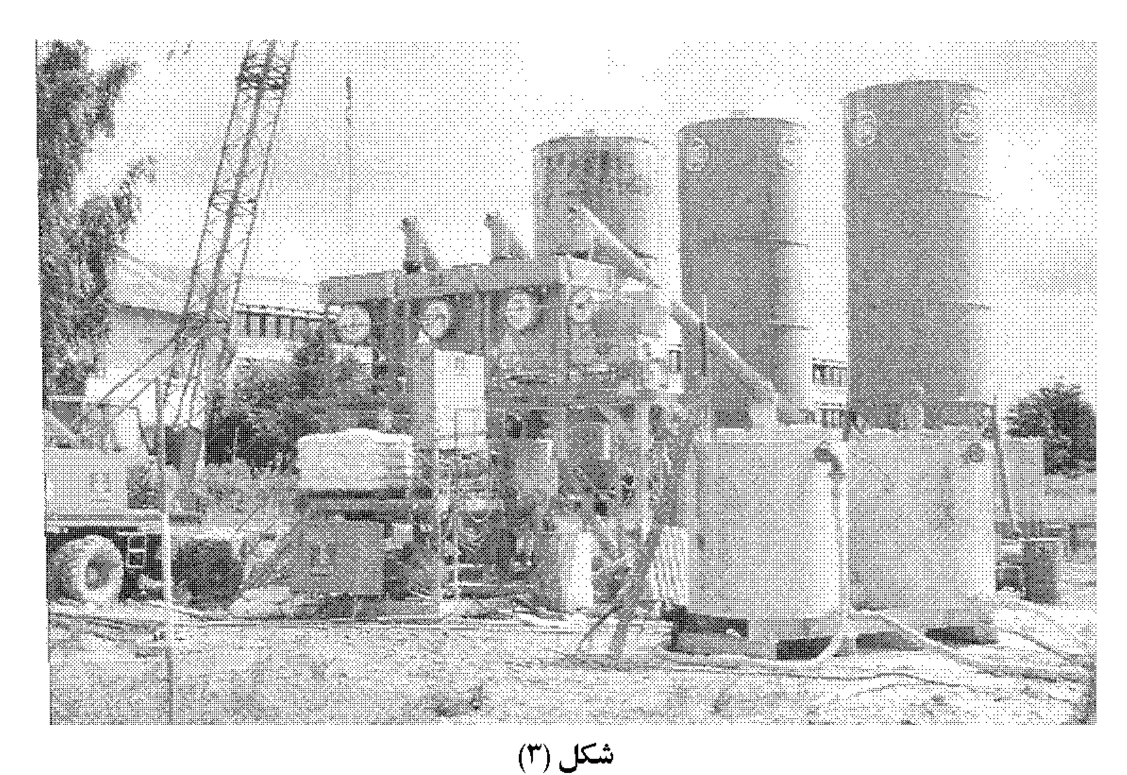
خلط وتجهيز ودفق مستحلب البنتونايت :

البنتونايت : هو طفلة مطحونة الي درجة نعومة فائقة . تخلط بالماء ليصبح مستحلب (مثل الطحينة) – وظيفة هذا المستحلب هو صلب جوانب الحفر العميق (مثل الخوازيق أو حوائط الديافرام) والضغط علي جوانب التربة والمحافظة عليها من الأنهيار عن طريق دفقها داخل قطاع الحفر حتي سطح الأرض (قبل تسليح الحوائط) حيث تعطي ضغطا يقاوم (الي حد كبير) أنهيار التربة .

ولا تأثير لهذا المستحلب علي الخرسانة التي يتم صبها – شكل (٣).

١ – يتم دفق البنتونايت الي الحفر حتي يحافظ علي جوانب الحفر من الأنهيار . يفضل سرعة صب وأنجاز الصب و نهو العمل بالحائط وعدم تركه أياما طويلة .

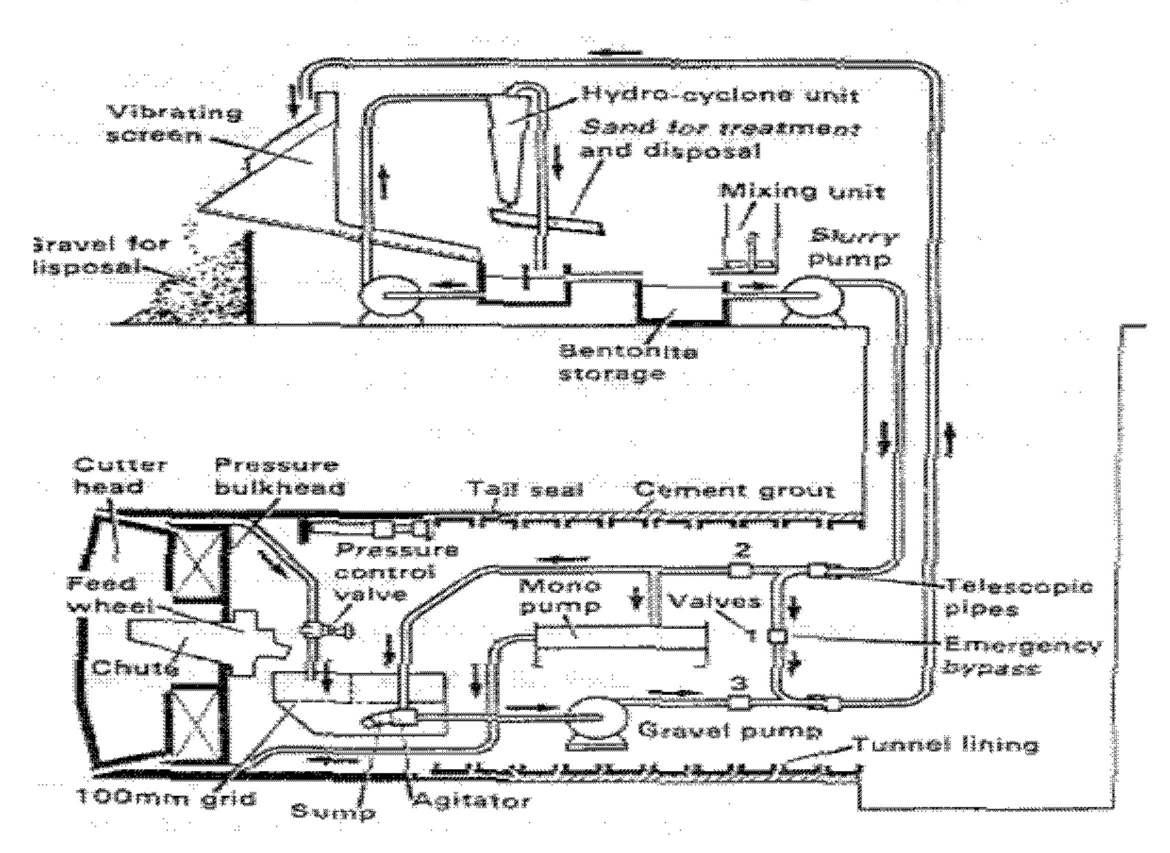
٢ – تنزيل شبكة التسليح الي الحفر – ملحومة ومزودة بقطع (البسكوت) البلاستيك = ٧ سم للمحافظة علي الشبكة من الألتصاق علي جانب التربة .



شكل (٣)

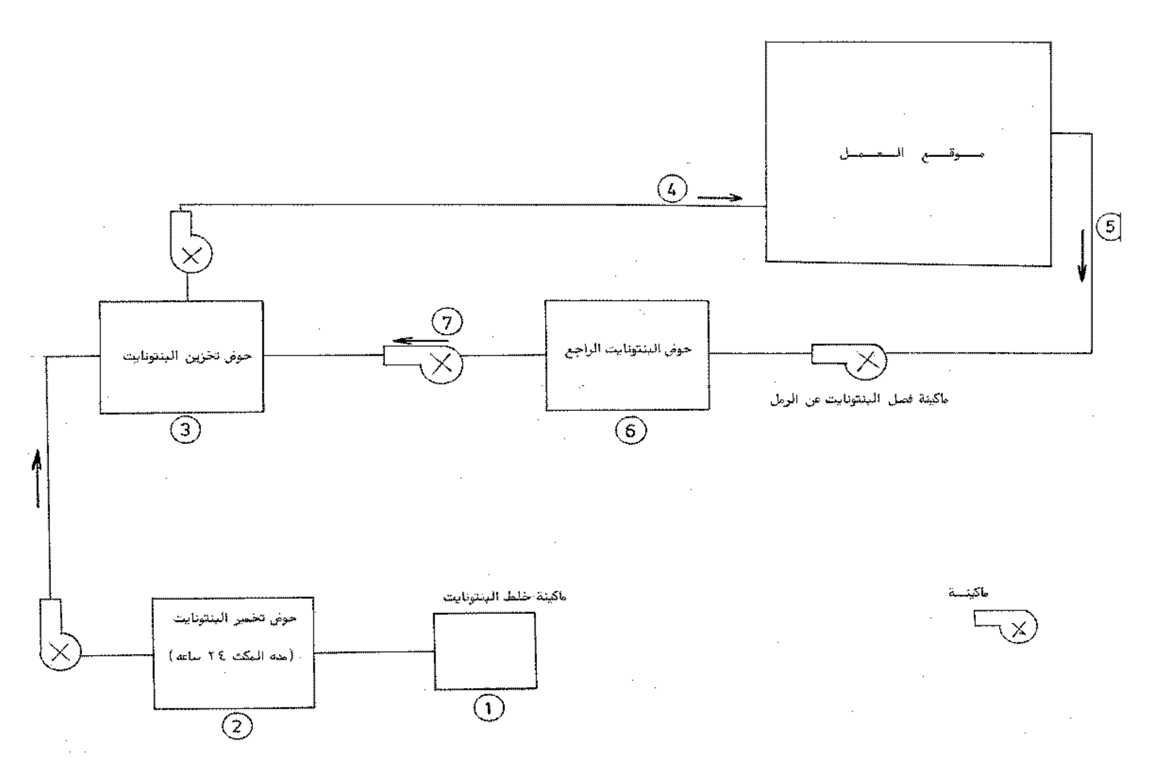
محطة خلط البنتونايت – يمكنها ضخ خليط البنتونايت بمعدل ٥٠ متر مكعب / الساعة

The Bentonite shield - slurry circuit



شكل (٣)

دورة البنتونايت أثناء العمل



١ – ماكينة خلط البنتونايت .

٢ – حوض تخمير البنتونايت – مدة المكث ٢٤ ساعة .

٣ – حوض تخزين البنتونايت .

٤ – موقع العمل (حائط الديافرام) .

٥ – عودة الخليط مع فصل الرمال عن البنتونايت .

٦ – حوض تخزين البنتونايت الراجع .

٧ – ضخ البنتونايت الراجع الي حوض التخزين .

شكل (٣)

مخطط يبين دورة البنتونايت أثناء التنفيذ

صب حوائط الديافرام :

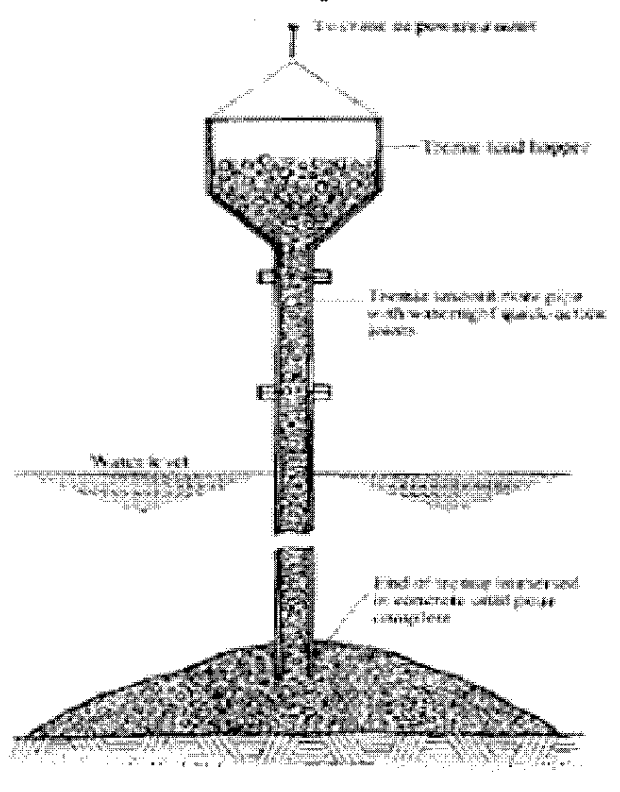
١ – صب الحائط بكامل أرتفاعه باستخدام مزراب معدني طويل ، يبدأ من قاع الحائط وينتهي بقمع لصب الخرسانة الجاهزة (المزراب بطول الحائط) – شكل (٤) .

٢ – نبدأ الصب بحيث لا ترتفع نهاية المزراب فوق سطح الخرسانة الجاري صبها وأنما يكون مغمورا داخل الخرسانة الخضراء حوالي ١٥ سم . السبب في ذلك أنه يحتمل سقوط أتربة علي الخرسانة من جوانب التربة ولا نشاهدها ، فباستمرار الصب يرتفع منسوب الخرسانة داخل الحائط حاملا أية أتربة تكون قد سقطت علي السطح الي منسوب الأرض ثم تتم أزالتها بعد ذلك . كما يتم ملء الخرسانة لأي فراغات أو تجاويف تكون قد حدثت في جوانب التربة.

٣ – بتوالي صب الخرسانة – يظهر خليط البنتونايت ويطفو ويتدفق علي السطح . يتم تجميع هذا الخليط في حوض ترسيب علي سطح الأرض ثم يعاد ضخه وأستعماله ثانية في حائط آخر توفيرا في التكاليف .

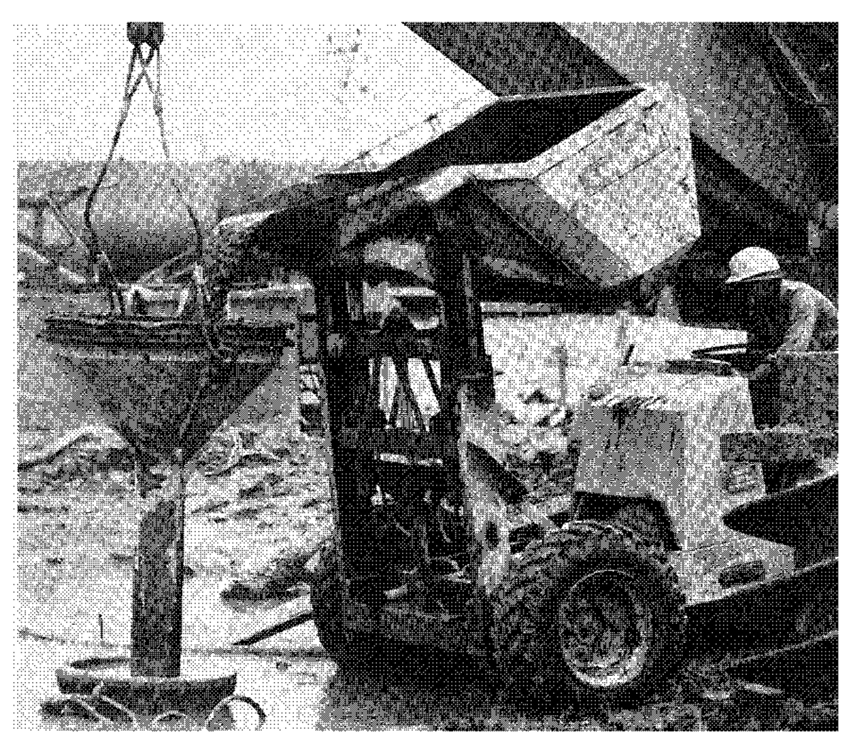
٤ – قد يكون الحفر أوسع من حائط الديافرام – لذا يتم وضع لوح معدني **Stop end**– رأسي تماما – به نتوآت خاصة للعمل مثل الشدة في ضبط عرض الحائط أثناء الصب . هذه النتوآت تساعد علي جودة التصاق الخرسانة الجديدة بخرسانة الحائط السابق ، بالأضافة الي تحسين مقاومة الفاصل الخرساني لمياه الرشح الأرضية . يزال هذا اللوح بعد تمام تصلد الخرسانة – شكل (٥) .

٨ – من الجائز تصنيع حوائط الديافرام جاهزة في الورشة ثم نقلها بالسيارات الي موقع العمل وتنزيلها في مكانها بواسطة الرافع – مشروع مترو الأنفاق – المرحلة الأولي .



شكل (٤)

رسم توضيحي لصب الخرسانات لحوائط الديافرام – يري نهاية القمع مدفونة أسفل سطح الخرسانة طوال عملية الصب



تابع شكل (٤)

صب الخرسانة داخل القمع المعدني (للمزراب) للأنشاءات العميقة

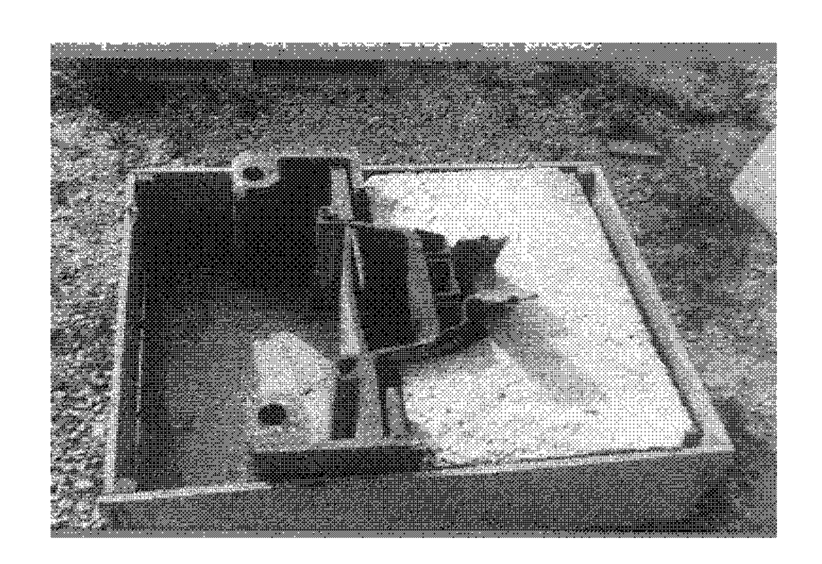
الأحتياطات الواجب مراعاتها أثناء صب الحوائط العميقة تحت الماء .

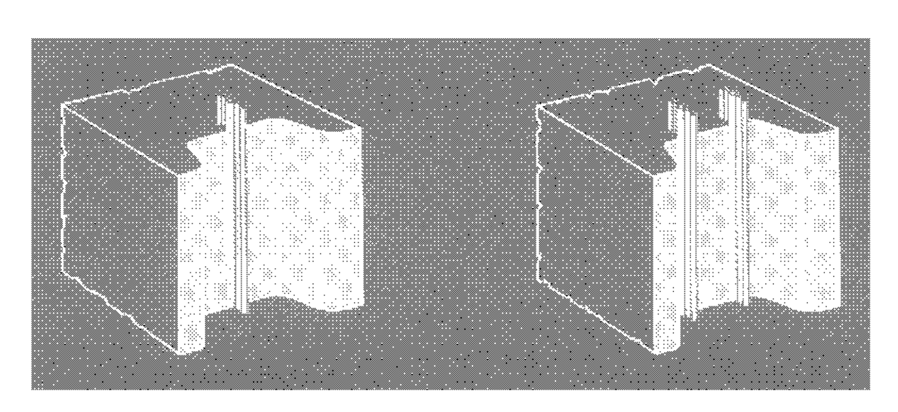
تكون نهايته ماسورة مزراب الصب تحت المياه مغمورة في الخرسانة في حوائط الديافرام العميقة أو الخوازيق – ولهذا أهمية قصوي ، والمزراب عبارة عن قمع علوي يعلق في الرافع وتعلق به قطع مواسير مقلوظة من الجانبين قطر ٢٠ سم وطول ٢ متر – شكل (٤) . يتم تركيب وصلات مواسير المزراب مع بعضها بالرافع حتي تصل الي نهاية الحفر . يتم تركيب القمع ليستقبل الخرسانات من الدمبر أو سيارة نقل الخرسانة . مع توالي الصب ، قد يحدث ظهور خرسانة خضراء في القمع أثناء الصب . يدل ذلك علي أعاقة وصول الخرسانة إلي أوطي نقطة وأنها محبوسة بالمزراب . نوقف عملية الصب لثواني معدودة ثم يتم رفع المزراب ١٠ سم بالرافع (ونهاية ماسورة المزراب لا تزال مغمورة في الخرسانة) فتتدفق الخرسانة وتهبط خلال المزراب لتملا قطاع الحائط ثم يستأنف الصب مرة أخري وهكذا .

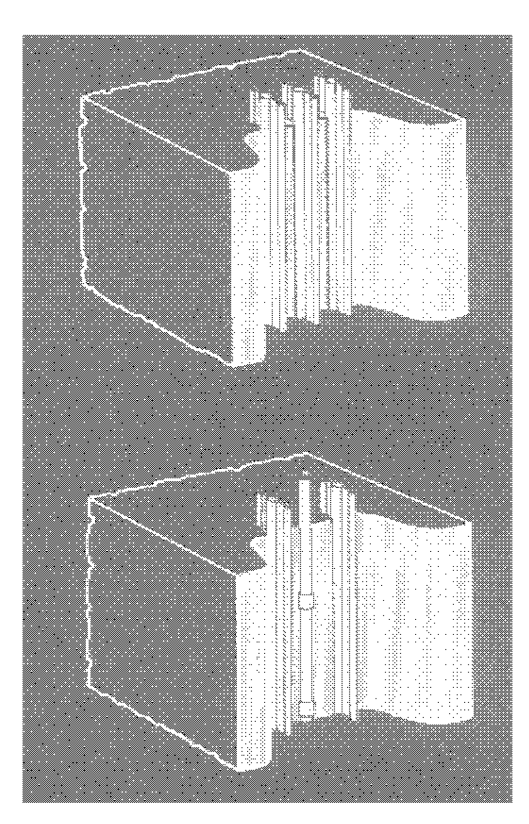


شكل (٥)

لوح النهاية المعدني Stop End – يأخذ عدة أشكال حسب الشركة المنفذة







تابع شكل (٥)

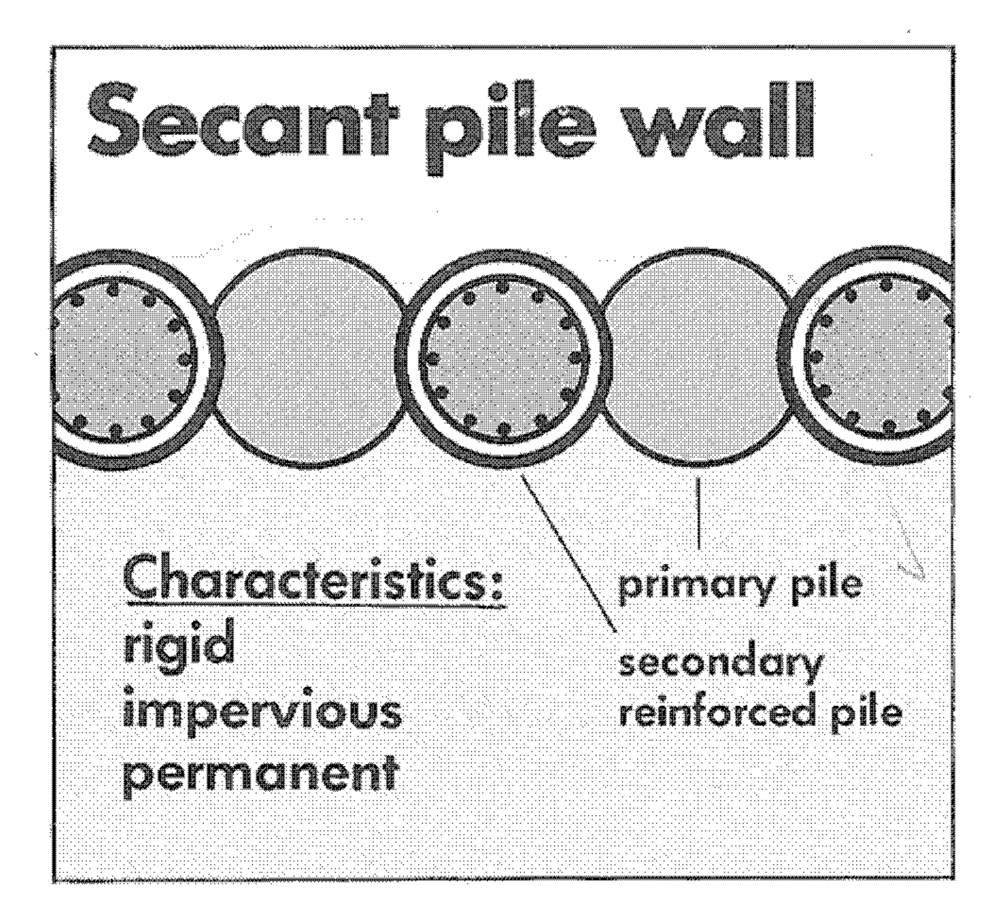
لوح النهاية المعدني Stop End

سمك حائط الديافرام الخرساني	٥٠	٦٠	٨٠	١٠٠	١٢٠
سمك حائط النهاية المعدني	٤٦	٤٦	٧٤	٧٤	٩٤

تنفيذ حائط الديافرام من الخوازيق المتماسة :

١ – تخطيط و تنفيذ كمرات الدليل

٢ – حفر الخوازيق المكونة لحائط الديافرام و تكون كلها من الخرسانة المسلحة . يكون تصميم الخوازيق من كابولي بسيط Simple cantilever أو من خوازيق مزودة بشدادات خلفية . تطبق طريقة تنفيذ هذه الخوازيق متماثلة تماما مع طريقة تنفيذ حوائط الديافرام . هذه الخوازيق تكون جزء من جسم حائط النفق .



شكل (٤)

قطاع أفقي للخوازيق المتماسة – تستخدم كحائط ساند لمداخل ومخارج الأنفاق

٣ – الحفر في قطاع النفق حتي المنسوب المطلوب مع عمل الطرق التنفيذية اللازمة لمقاومة المياه الجوفية (إن وجدت) .

٤ – تنظيف سطح الخوازيق من الطين العالق بالجسم وذلك بواسطة الرمالة Sand plast . في حالة وجود رشح مياه أرضية بين جسم الخوازيق ، يتم عمل حقن وعلاج لنقاط الرشح .

٥ – عمل وتنفيذ العزل اللازم لمياه الرشح (إن وجدت) .

٦ – في منسوب الأرضية ، تكون الخوازيق مزودة بأشارات حديد تسليح مماثلة لحديد التسليح بالبلاطة . نبدأ في أزالة الغطاء الخرساني من جسم الخوازيق في منسوب البلاطة فقط ، ثم يتم فرد أشارات حديد التسليح الموجودة بالخازوق وفردها علي الأرضية المسلحة للنفق لتتشابك مع تسليح الأرضية .

٧ – نصب خرسانة الأرضية .

٨ – تعمل شدة نجارة رأسية أمام أسطح الخوازيق بمسافة ١٠ – ١٥سم ليكون الحائط من الداخل مستويا تماما .

٩ – تجري عمليات التشطيبات النهائية للنفق .

أنفاق الحفر االمكشوف

CUT AND COVER TUNNELS



الأنفاق بالحفر المكشوف

CUT AND COVER TUNNELS

تقديم :

هو نظام أكثر أقتصادا من أنظمة أنشاء الأنفاق بالطرق الأخري ويمتاز بالآتي :

١ – سهولة التنفيذ والأنشاء .

٢ – أقل تكلفة من باقي انواع الأنفاق .

كما أن من عيوبه :

١ – تعطيل المرور في كامل مسار النفق مدة الأنشاء .

٢ – تدمير البنية الأساسية في موقع النفق من طرق و مواسير وكابلات وأضطرار السلطات الي أعادة أنشاء هذه المرافق في أماكن أخري وتكاليف باهظة .

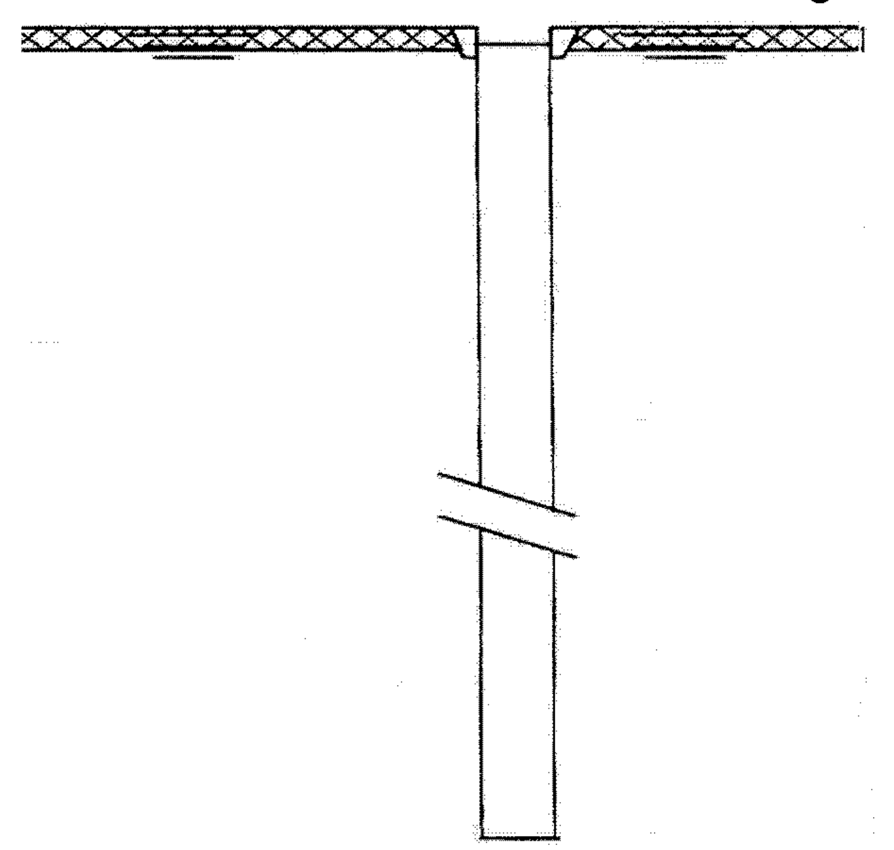
الخطوات التحضيرية لبدء العمل :

١ – البدأ في تحويل المرافق المتعارضة مع مسار النفق من طرق ومواسير وكابلات و أرصفة وحدائق ....

٢ – تحويل المسارات المرورية لمسارات بديلة .

٣ – عمل تحقق مساحي للعقارات المجاورة لمسار النفق Dilapidation survey يتم فيها التعرف علي حالة المنشآت والشروخ والتصدعات الموجودة بها ، بالأضافة الي تسجيل وعمل ملف لكل عقار مدونا به الحالة الأنشائية الراهنة ومواقع الشروخ (أن وجدت) وهل هذه الشروخ نشطة أم خاملة وهل هناك هبوط بالمنشأ ؟ وهل جري للمنشأ قرار تنكيس ؟ وذلك قبل البدأ في التنفيذ .

مراحل تنفيذ النفق :

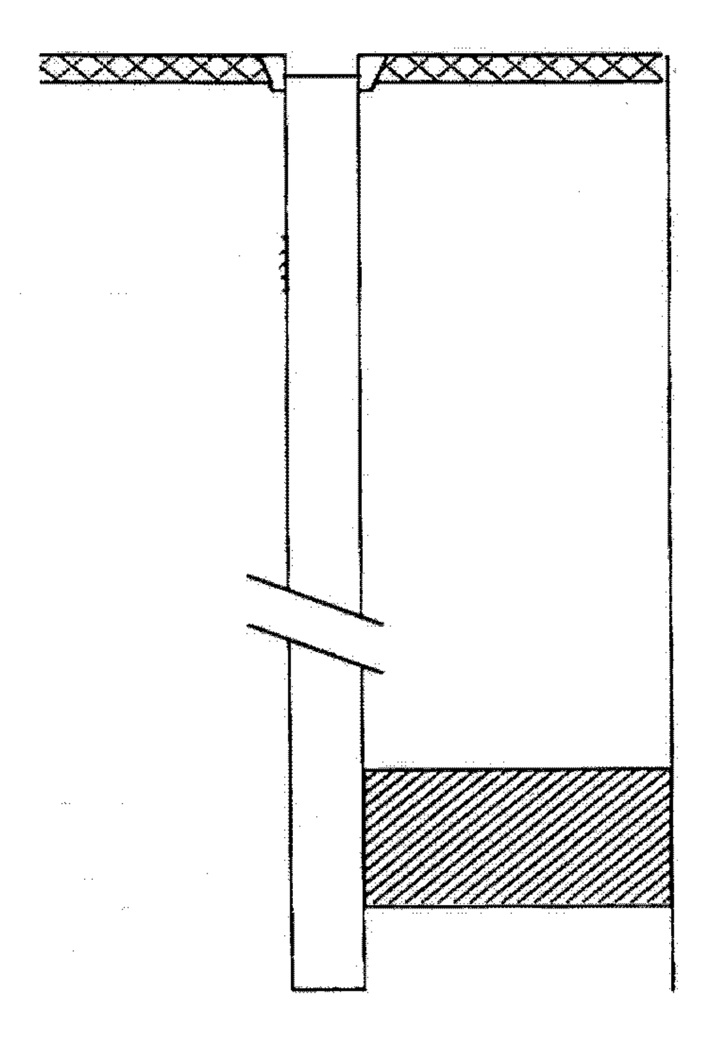


المرحلة الأولي :

١ – تحديد مسار النفق ، عمل التحويلات المرورية اللازمة وكذلك تحويل المرافق المتقاطعة مع المسار مثل مواسير المياه والمجاري والغاز وكذلك الكابلات الكهربائية والتليفونية .

٢– تحديد محور النفق ومن ثم محاور حوائط الديافرام التي تكون جسم النفق .

٣– أنشاء كمرات الدليل من الخرسانة المسلحة حول كل حائط ديافرام ، لضبط والسيطرة علي حفارة حوائط الديافرام Diaphragm walls وليكون قطاع الحفر مساويا تماما للوحات التصميمية – كما هو مبين . المسافة بين هذه الكمرات = سمك حائط الديافرام + ٥ سم . يرجي مراجعة باب حوائط الديافرام .



<u>المرحلة الثانية :</u>

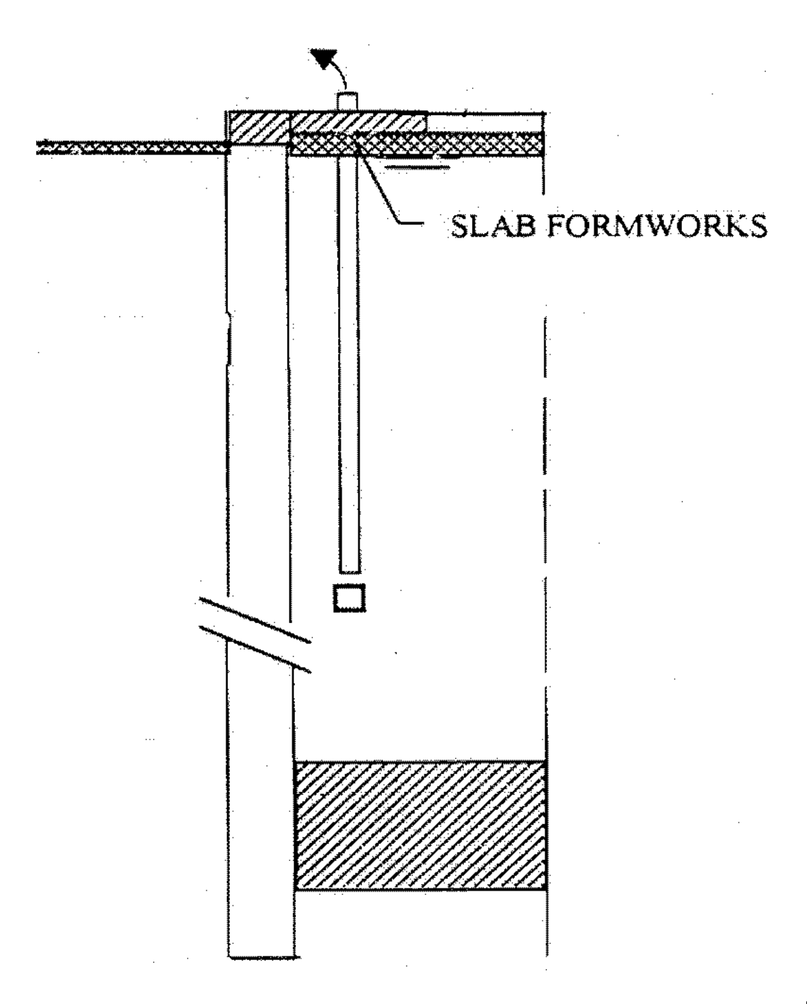
١ – الحفر بين كمرات الدليل المدفونة بواسطة حفارة حوائط الديافرام حتي العمق التصميمي للحائط و بالعرض والسمك المطلوب . تكون حوائط الديافرام سابقة الصب وتكون في أحوال أخري – خاصة – مصبوبة بالموقع – حالة المحطات .

٢ – دفق البنتونايت الي الحفر حتي يحافظ علي جوانب الحفر من الأنهيار . يفضل سرعة الصب و الأنجاز و نهو العمل بالحائط وعدم تركه أياما طويلة .

٣ – تنزيل شبكة التسليح الي الحفر – ملحومة و مزودة بقطع البلاستيك (البسكوت) = ٧ سم للمحافظة علي الشبكة من الألتصاق علي جوانب التربة .

٤ – صب الحائط بكامل أرتفاعه باستخدام مزراب معدني طويل ، يبدأ من قاع الحائط وينتهي بقمع لصب الخرسانة الجاهزة (المزراب بطول الحائط) . راجع الباب الخامس (حوائط الديافرام) .

٥ – عمل ستارة من الحقن أسفل النفق الرئيسي لمقاومة مياه الرشح . .يرجي مراجعة الباب الثاني عشر (مقاومة المياه الجوفية) .



<u>المرحلة الثالثة :</u>

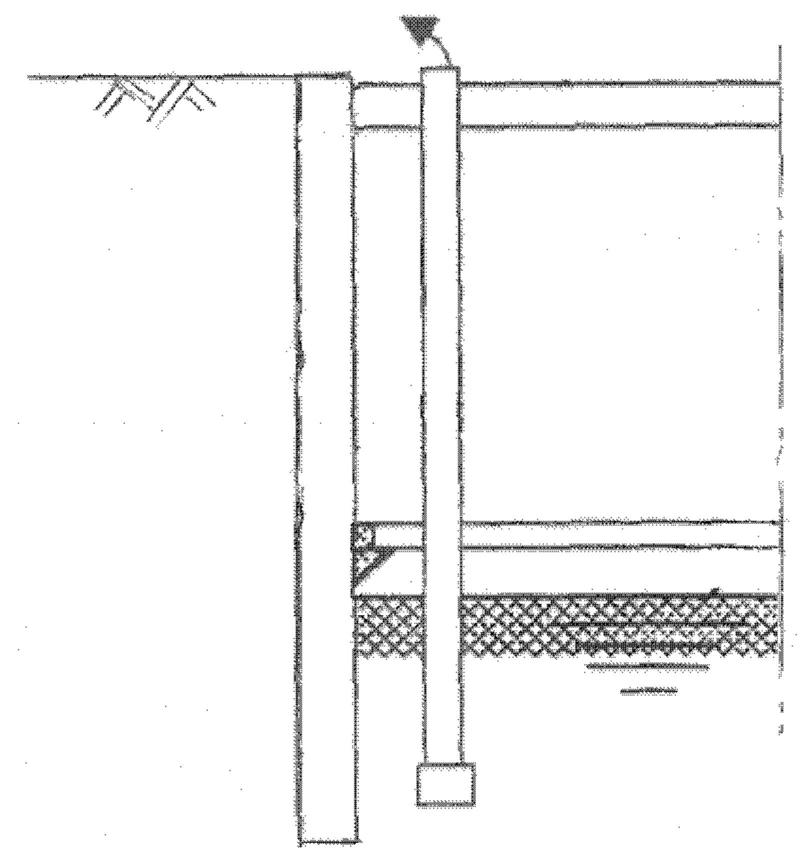
١ – الحفر من سطح الأرض حتي منسوب باطن أول سقف خرسانة مسلحة (مؤقت) في النفق .

٢ – يعمل سقف خرساني مسلح مؤقت .

٣ – يفضل عمل السقف المذكور جاهز الصب (Pre cast) من كمرات جاهزة الصب ترص علي حائطي الديافرام بفاصل حوالي ٢,٥ متر ، ثم يتم رص بلاطات للسقف سمك ٨ سم من الخرسانة المسلحة مع كانات حديد Dowels للرباط في السقف الأصلي تعمل كشدات مسلحة لصب البلاطة الرئيسية .

٤ – صب الخرسانة المسلحة للسقف .

٥ – الردم والتسوية ثم الدمك ثم فتح طريق المرور أعلي السقف .



المرحلة الرابعة :

١ - الحفر داخل النفق حتي منسوب أول صف من الركائز **Struts** مع توالي نزح المياه .

٢ - وضع وتثبيت ركائز أول صف لسند الحوائط حسب التصميم .

٣ - تتم أعمال الحفر لمنسوب حصيرة الأرضية .

٤ - وضع السنادات (الدكم) - للصف الثاني **Struts** .

٥ - صب أرضية النفق .

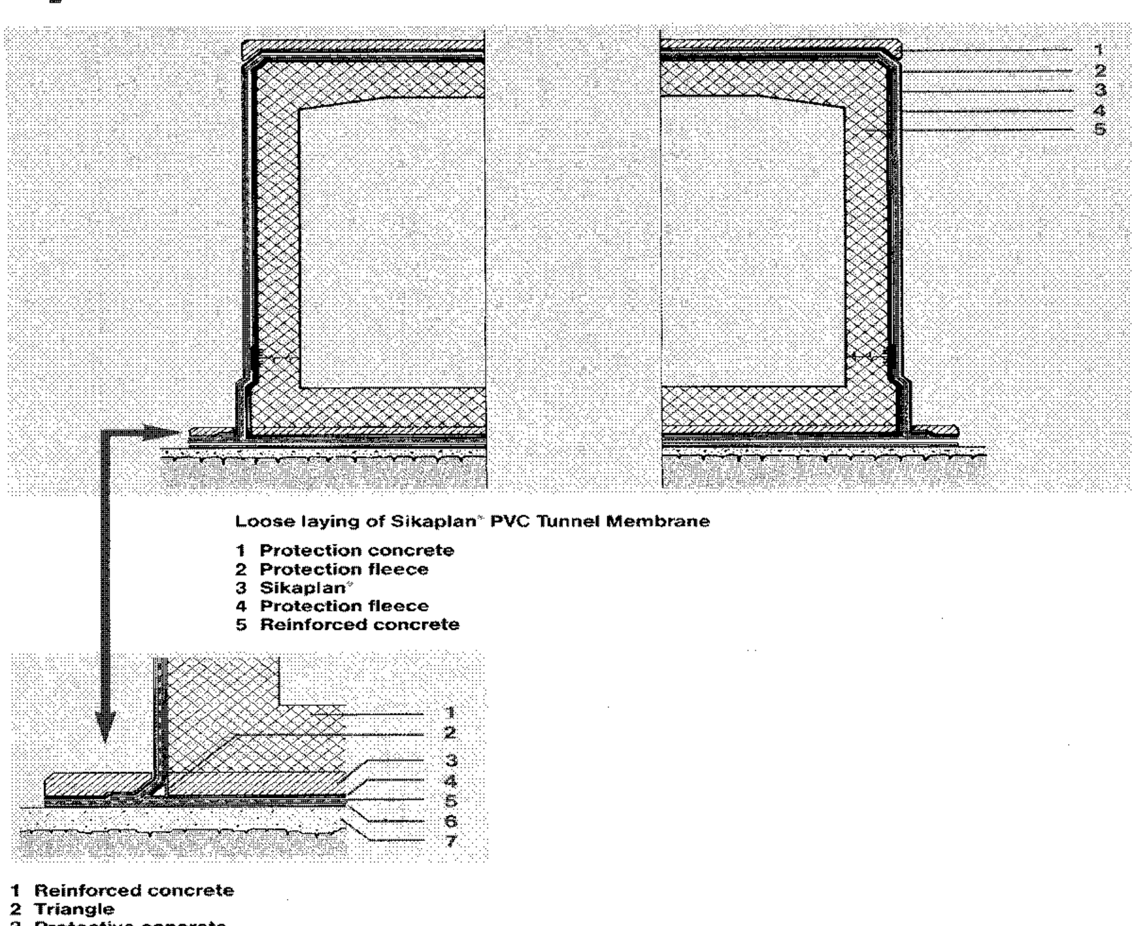
* أنشاء المحطات :

تتبع نفس خطوات إنشاء المحطات علي الأنفاق المجزأة . "راجع الأنفاق المجزأة ".

التبطين وعزل قطاع النفق من الخارج :

التبطين برقائق البوليفينيل كلورايد :

يتم تبطين النفق بواسطة رقائق بوليفينيل كلورايد . تكون هذه الرقائق علي شكل ألواح يمكن طلبها باطول والسمك المطلوب . يمكن طلب المقاسات المناسبة للعمل وكذلك سمك الرقائق ، وعادة يكون السمك من ١,٥ – ٢ مم . يمكن أن تكون تلك الرقائق مقاومة للحريق – شكل (١) .



شكل (١)

عزل الأنفاق المنشأة بطريقة الحفر المكشوف

يتم صب طبقة خرسانة بسمك ١٥ سم علي سقف النفق حماية لطبقات العزل . يعزل أيضا في الجوانب بعازل آخر من طبقات عازلة .

الأنفـــاق المجـزأة
Segmental tunnels

الأنفــاق المجزأة
Segmental Tunnels

مقدمة :

عندما يتطلب الأمر أنشاء أنفاق ذات قطر كبير – أكبر من ٣ متر – فإن الحل الوحيد هو أستخدام طريقة الأنفاق المجزأة حيث أمكانات التنفيذ للأقطار الكبيرة.

و من الأمثله البارزة في هذا الشأن :

مترو الأنفاق – المرحله الثانية بمدينه القاهرة – قطر ٩ متر .

- **نفق الشهيد أحمد حمدي أسفل قناة السويس – قطر ١٠,٤ متر.**
- **نفق الصرف الصحي للقاهرة الكبري – قطر ٥,٥ متر .**
- **يمكن أيضا تنفيذ الأنفاق بالطريقة السابقة حتي قطر ١,٥ متر – و للأنفاق الأقل قطرا فيمكن أستخدام المواسير .**

أولا : غرفة البداية (أنفاق الصرف الصحي) :

يختار موقع غرفة البداية عند ألتقاء الشوارع مع الشارع الموجود به النفق حيث ضرورة صرف مجاري الشارع الفرعي مع النفق الرئيسي .

طريقة الأنشاء :

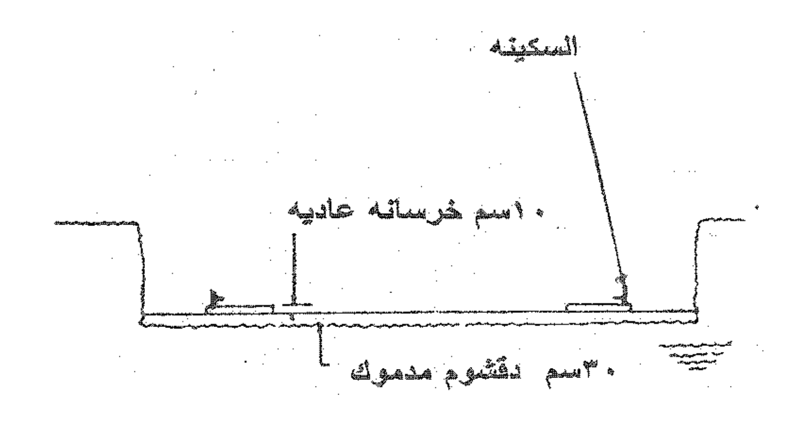
المرحلة الأولي :

١ – الحفر المكشوف حتي منسوب مياه الرشح .

٢ – وضع ودمك طبقة مستوية من الدقشوم سمكها = ٣– ٥ سم .

٣ – صب ١٠ سم خرسانة عادية علي منسوب واحد أسفل السكين القاطع .

٤ – وضع وتثبيت ولحام السكين القاطع Cutting Edge .

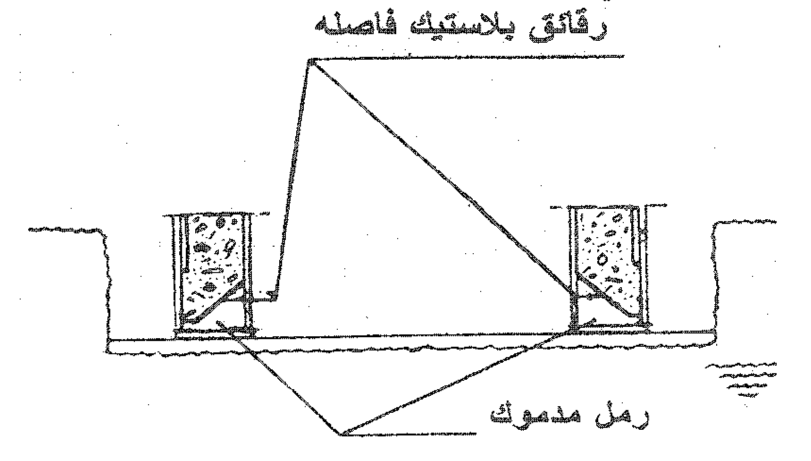


المرحلة الثانية :

١ – الردم والدمك بالرمال مع تشكيل طبقة الرمال عند السكين القاطع .

٢ – وضع رقائق البلاستيك عند الجزء المشطوف من السكين القاطع .

٣ – عمل شدة النجارة للحطة الأولي ثم تسليحها ثم الصب .



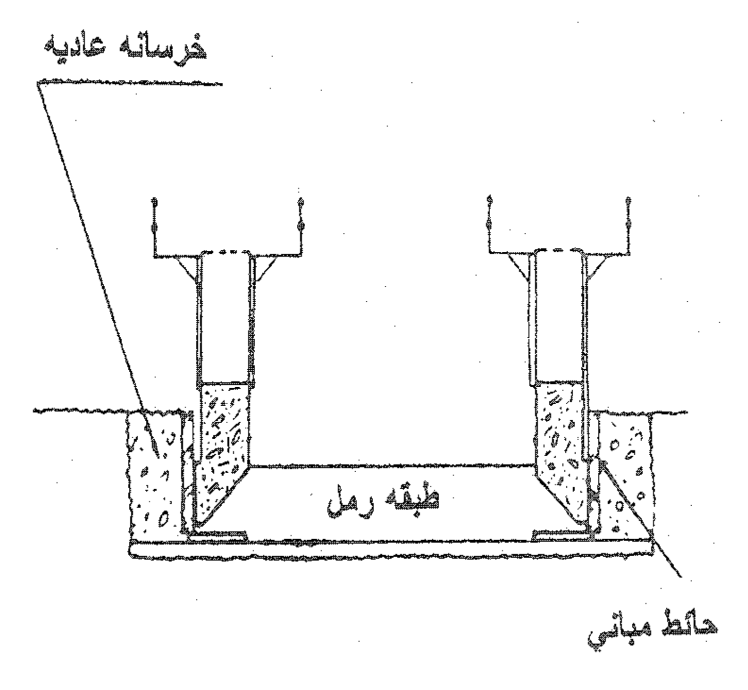
المرحلة الثالثة :

١ – عمل فتحات دخول وخروج النفق – يتم سدها مؤقتا بالخرسانة العادية أو المباني .

٢ – تركيب الشدة المعدنية أو الخشبية الداخلية والخارجية للحطة الثانية .

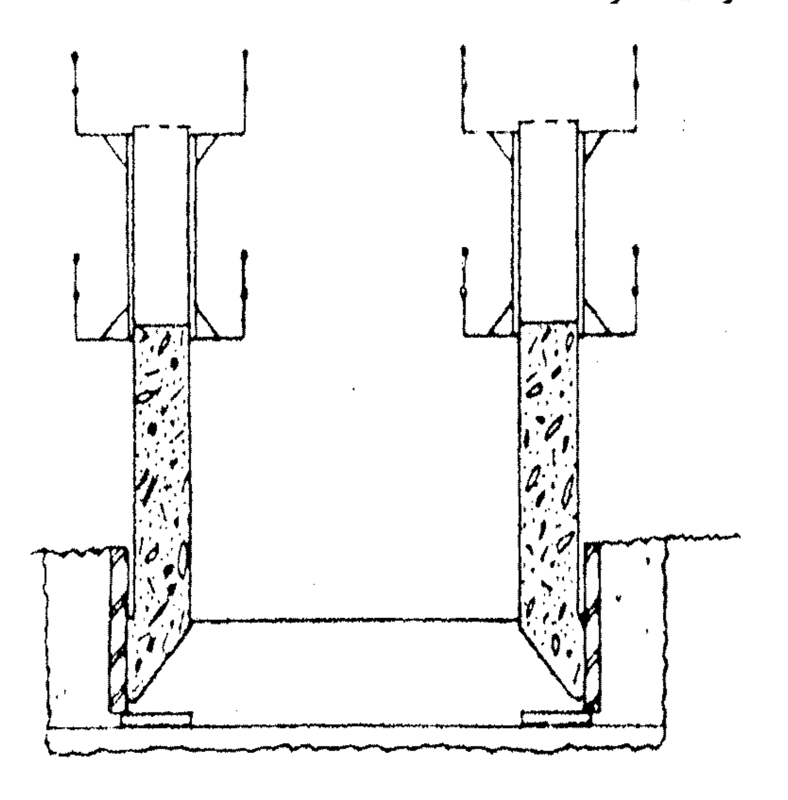
٣ – بناء حائط ٢/١ طوبة من الخارج .

٤ – صب خرسانة ضعيفة خلف الحائط .



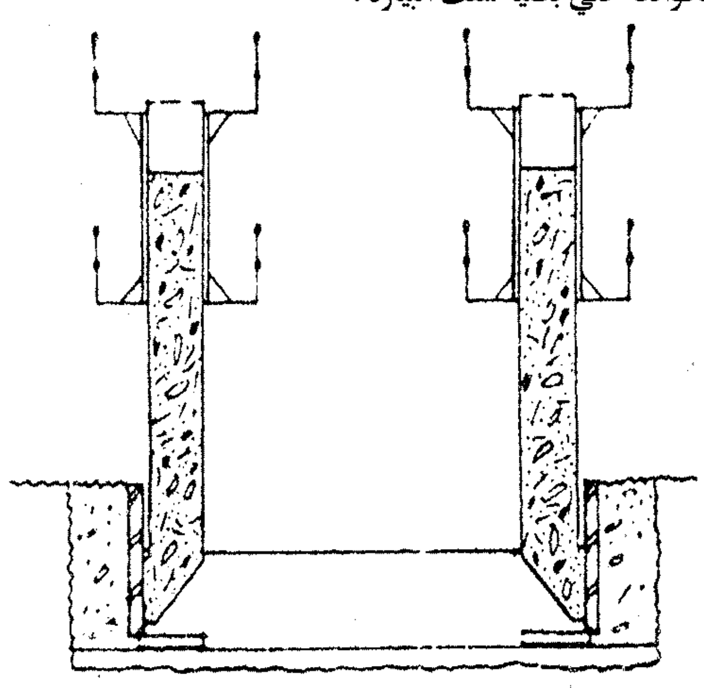
المرحلة الرابعة :

١ – صب الحطات الخرسانية للحوائط .



المرحلة الخامسة :

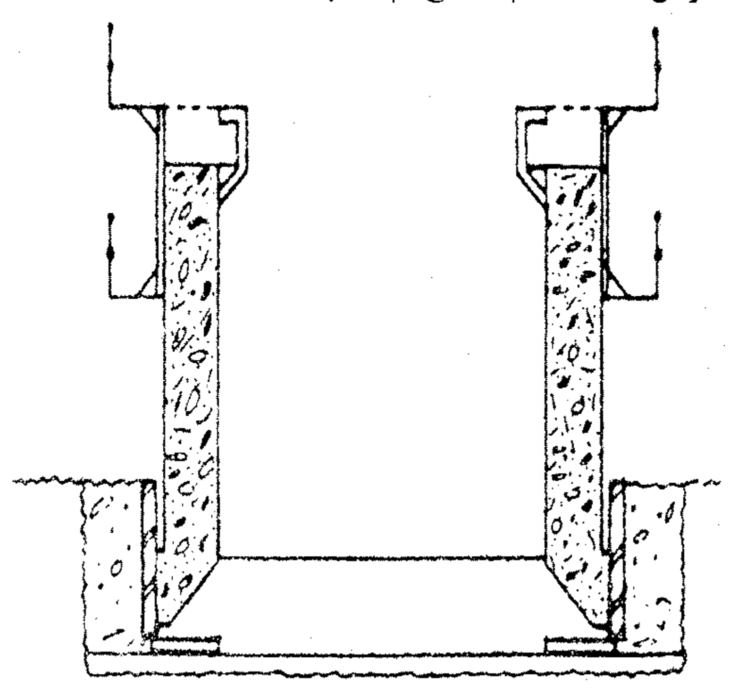
١ – أستكمال صب الحوائط حتي بطنية سقف البيارة .



المرحلة السادسة :

١ – أزالة الشدة الداخلية .

٢ – عمل شدة كمرة الونش الداخلية ثم التسليح ثم الصب .

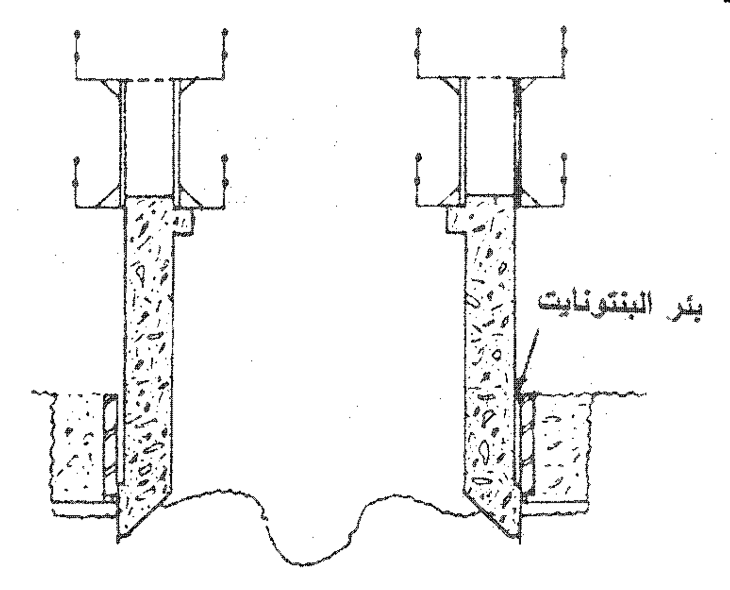


المرحلة السابعة :

١ – أزالة شدة كمرة الونش .

٢ – أعادة تركيب الشدة الداخلية والخارجية .

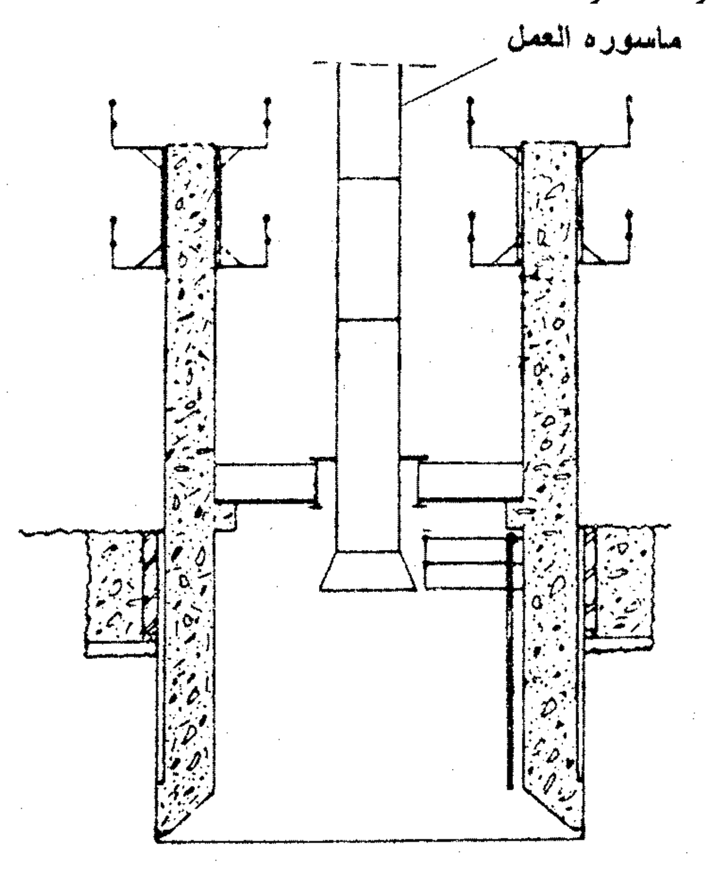
٣ – بدأ التغويص حتي منسوب مياه الرشح .



المرحلة الثامنة :

١ – أستمرار الصب .

٢ – تركيب معدات الهواء المضغوط .

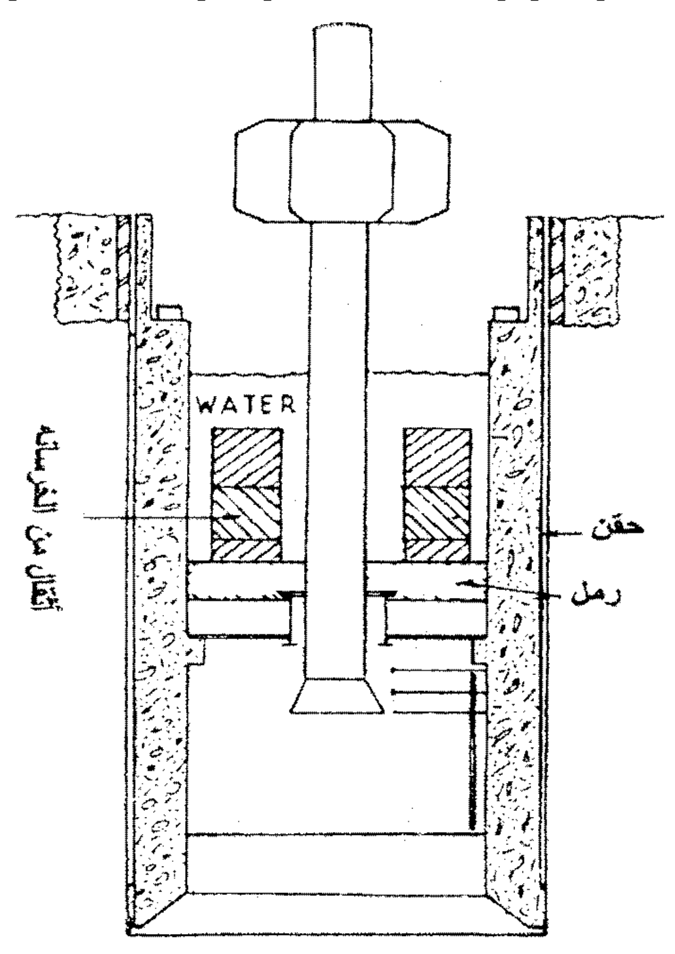


المرحلة التاسعة :

١ – وضع أثقال داخل البيارة للمساعدة في عملية التغويص – الأنتهاء من الصب .

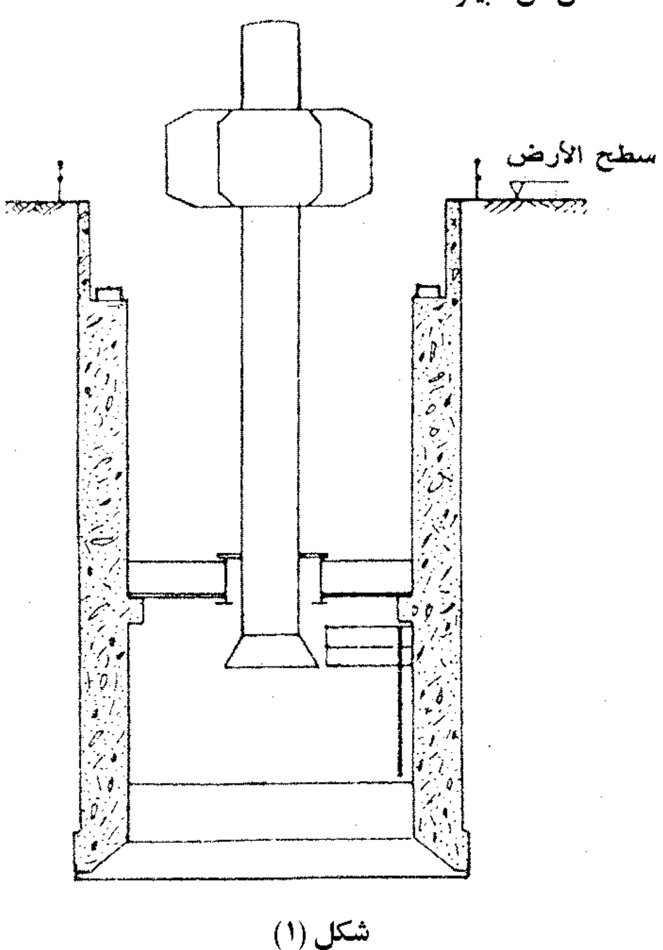
٢ – الأنتهاء من تغويص البيارة .

٣ – صب الخرسانة العادية أسفل البيارة وحقنها بالأسمنت . تظل البيارة تحت ضغط الهواء .



<u>المرحلة العاشرة :</u>

١ – الضبط النهائي و أزالة الأثقال من البيارة.



شكل (١)

أنشاء غرفة البداية باستخدم طريقة الهواء المضغوط

كما يمكن تنفيذ غرفة البداية من حلقات سابقة الصب – شكل (٢) علي أن يتم عمل كسوة للحلقات من الخرسانة المسلحة بسمك ٢٥ سم تقريبا . يتم ذلك طبقا للطريقة التنفيذية التالية :

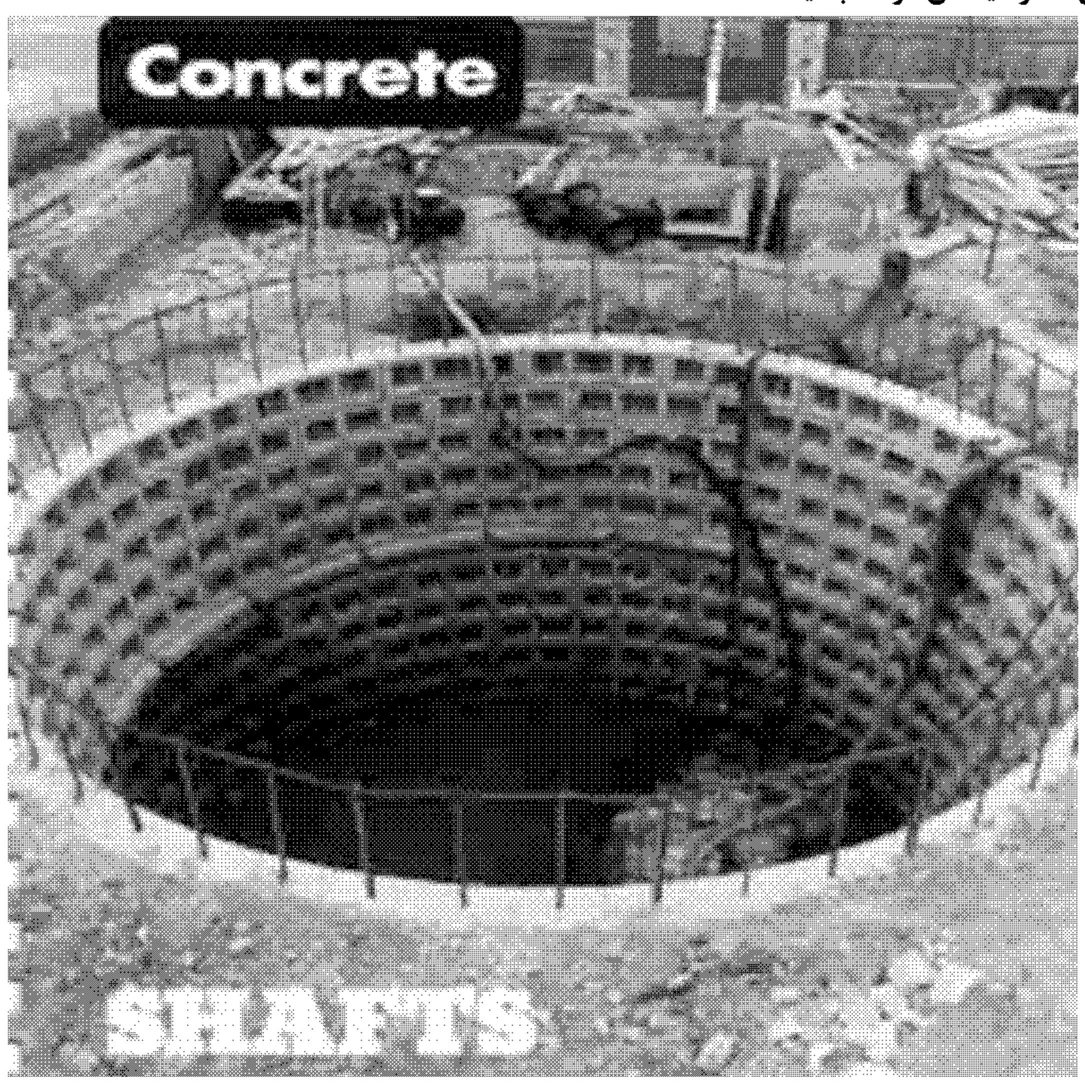
١ – تركيب الحلقات الدائرية في موقع البيارة بالمسامير (الحلقة الأولي والثانية والثالثة) .

٢ – الحفر بداخل الحلقات بالحفار الكباش Clamshell , فتغوص الحلقات داخل الأرض .

٣ – تركب حلقة أخري ويتم الحفر داخلها ثم الحلقة التالية وهكذا .

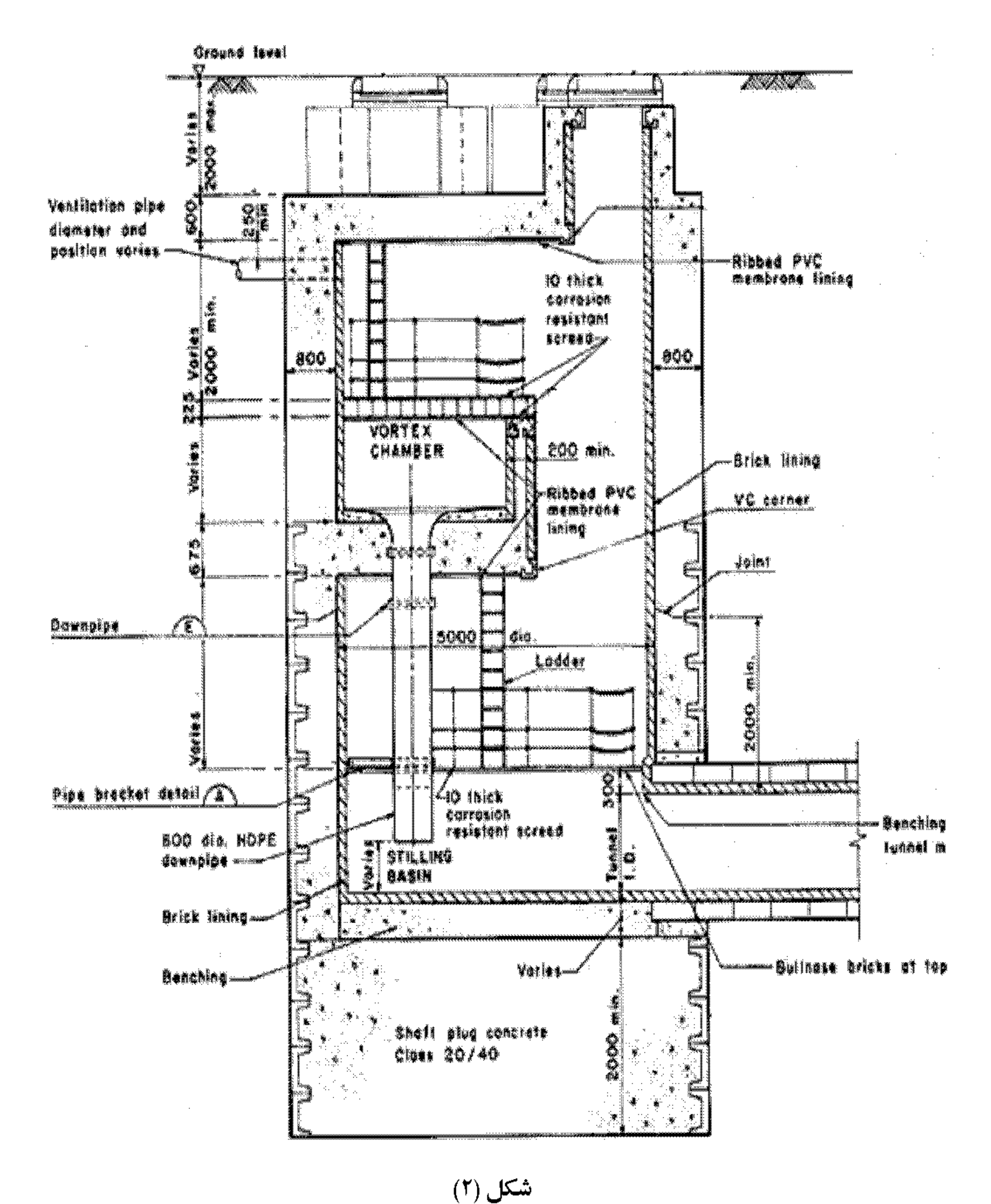
ثانيا : غرفة النهاية Recovery pit :

تنشأ غرفة النهاية آخر النفق المنفذ ، وتستقبل هذه الغرفة الحفارة في آخرعمل لها بالنفق . يمكن أن تنفذ هذه الغرفة بأنشاءات مؤقتة (ستائر معدنية) ، أو من الخرسانة المسلحة أذا ما كان نهاية النفق غرفة تفتيش أو صمامات وهي أصغر قليلا من غرفة البداية .



شكل (٢)

غرفة بداية من القطع الخرسانية Segments



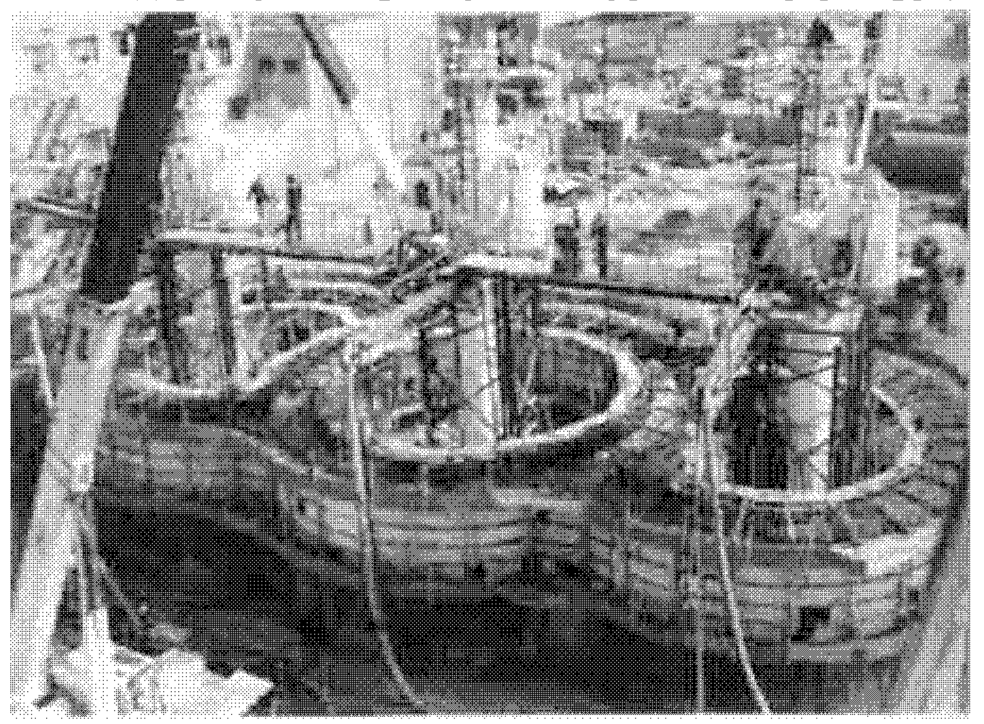
شكل (٢)

نموذج لغرفة علي النفق – نفق الصرف الصحي للقاهرة الكبري – تسمي هذه الغرفة غرفة الدوامة Vortex chamber

ملاحظة :

١ – عند دخول مجمع صرف صحي علي النفق ، تعمل ما يسمي غرفة الدوامة شكل (٢) ، حيث تدخل التصرفات من المجمع المذكور علي عمق ٩ متر (مثلا) . يكون النفق علي عمق ٢٠ متر (مثلا) . فرق الأرتفاع هذا يكون خلال الماسورة الرأسية الظاهرة بالرسم كي تدخل المياه الي النفق برفق .

٢ – قد يحتم موقع العمل أو المساحة المتوفرة أن تأخذ غرفة الدفع شكلا مغاير – شكل (٣) .



شكل (٣)

غرفة الدفع للنفق العمومي للصرف الصحي للقاهرة الكبري – ميدان باب الشعرية

كانت غرفة الدفع تتكون من ثلاث دوائر متماسة تقريبا ونفذت هذه الغرفة بالهواء المضغوط

كان للغرفة ضرورة أنشائية وموقعية كي تصبح بهذا الشكل

ثالثا : جسم النفق :

يتكون جسم النفق من حلقات دائرية سابقة الصب و هي التبطين الرئيسي للنفق الذي يقاوم الأحمال الواقعة علي النفق – قطر هذه الحلقة من الداخل يساوي قطر النفق + ضعف سمك طبقة التبطين – طول الحلقه يساوي ٦٠ – ١٠٠ سم . كل حلقة تتكون من عدة أجزاء **Segments** . يتم رباط هذه الأجزاء مع بعضها بواسطة مسامير بالصامولة لتكون حلقة دائرية ، كما يتم رباط هذه الحلقة مع الحلقات السابقة و الحلقات اللاحقة بالمسامير .

يجهز كل جزء بشريط مطاط يلصق علي جوانبه الأربعة لمنع رشح المياه . من خصائص هذا الشريط المطاط أن حجمه يزيد وينتفش عند تعرضه للمياه ، الأمر الذي يزيد من فاعليته لمقاومة الرشح .

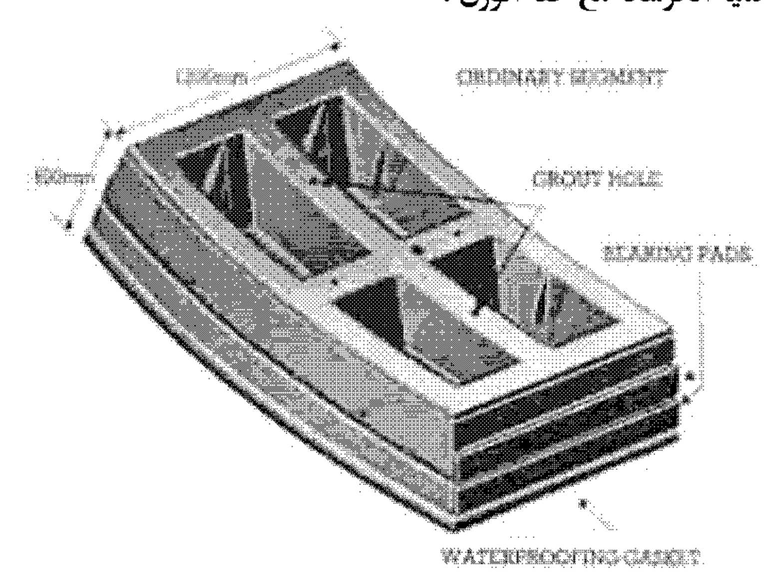
يترك في كل جزء ثقوب قطرها ٢" لأعمال الحقن .

تصنع الأجزاء من الخرسانة المسلحة عاليه الجودة – جهد لا يقل عن ٤٠٠ كجم / سم٢ – في فرم معدنية خاصة بالمصنع . كما يستخدم الأسمنت المقاوم للكبريتات .

أنواع الأجزاء الخرسانية :

١ – الأجزاء الخرسانية المقواة بالأعصاب : **Ribbed R.C Segments**

يصنع الجزء الخرساني – شكل (٤) – من جزء مصمت مواجه للتربة مع التقوية بالأعصاب جهة النفق . يتميز هذا النوع بقلة كمية الخرسانة مع خفة الوزن .



شكل (٤)

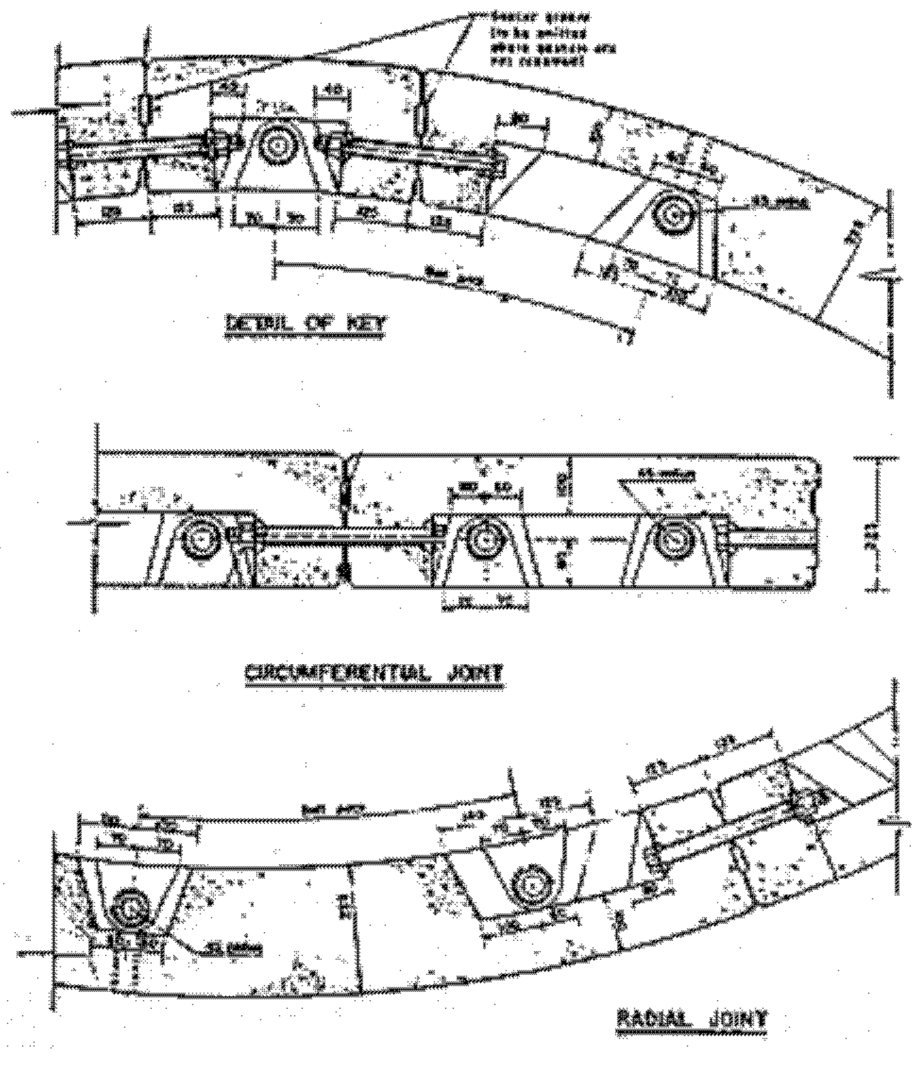
الحلقات الخرسانية المكونة لجسم النفق

٢ – الحلقات الخرسانية المصمتة :

يكون جزء الخرسانة مصمت شكل (٥) – تنشأ به فراغات لوضع مسامير الرباط و تستخدم رقائق بيتومينية بين الأجزاء لمقاومة الرشح .

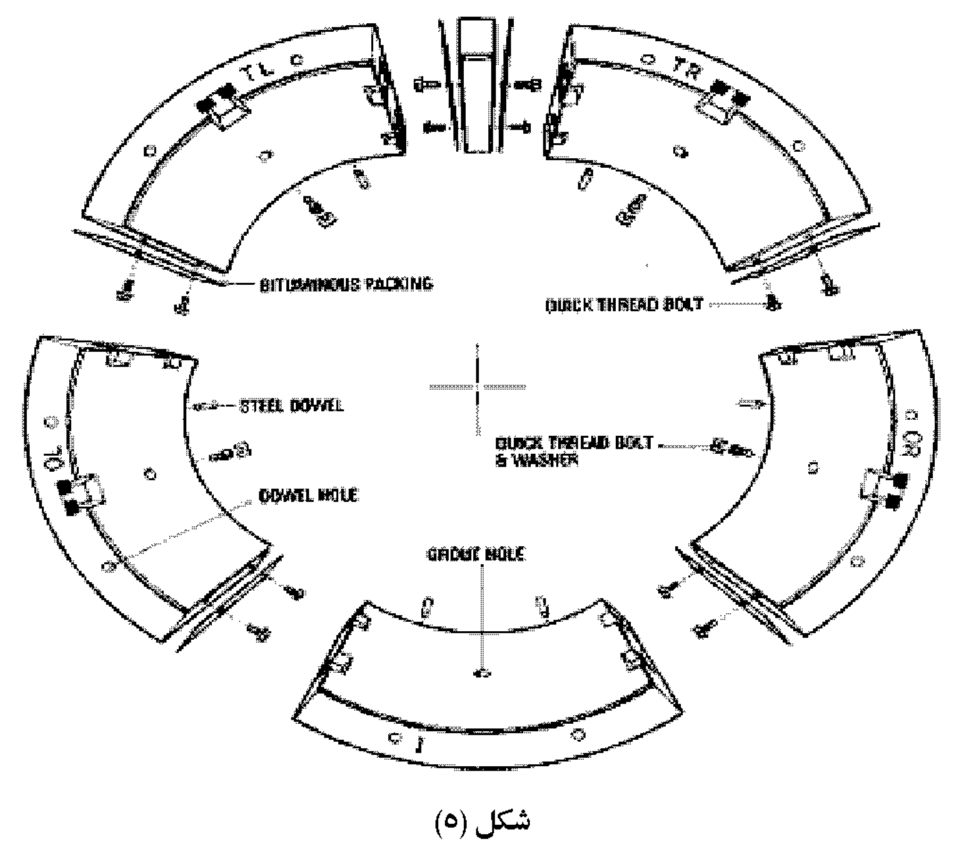
٣ – الحلقات المعدنية :

تصنع من الزهر المرن أو من الصلب – مقواة حول المحيط بأعصاب معدنية و تماثل الأجزاء في النوع الأول و هي نادرة الأستعمال .



شكل (٤)

تفاصيل الحتقات الخرسانية



شكل (٥)

الحلقات الخرسانية المصمتة

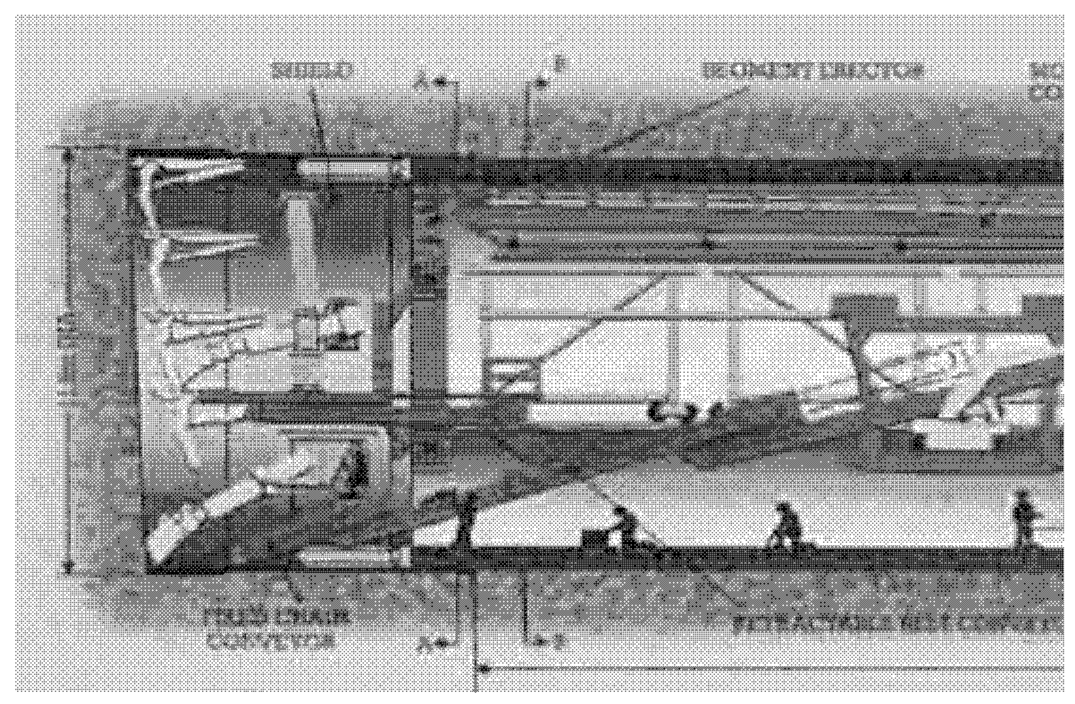
رابعا : ماكينة الحفر : Tunnel Boring Machine (T.B.M.)

تصمم الحفارة طبقا لطبيعة التربة ووجود مياه رشح من عدمه – ونظرا لكبرقطر بعض الأنفاق خاصة أنفاق المواصلات – فيمكن تركيب أكثر من حفار للتمكن من حفر كامل قطاع النفق . وفي الصورة القادمة – قطاع للحفارة بنفق الشهيد أحمد حمدي ، ويلاحظ تعدد الحفارات التي تعمل علي مناسيب عديدة كما يلاحظ أن الحفر يتم في الضغط الجوي العادي كما لا توجد مياه رشح في موقع العمل رغم أن قطاع القناة المائي فوق النفق مباشرة . السبب في ذلك هو تواجد قطاع النفق خلال طبقة من الأرض صماء متماسكة غير منفذة للمياه وهذا من عبقرية أختيار المسار مما قلل الكثير من تكلفة الأنشاء .

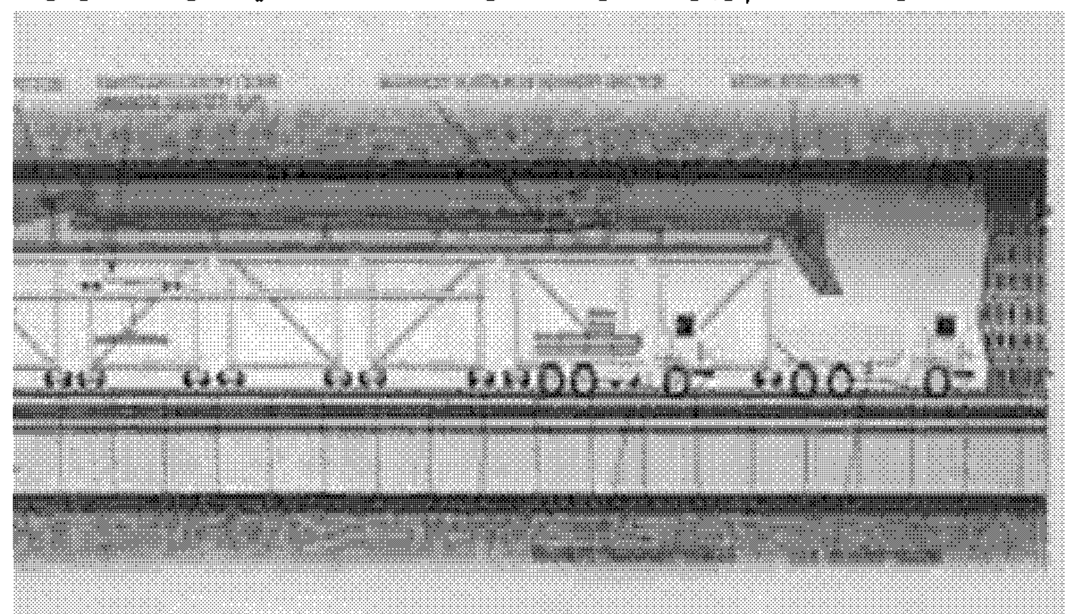
تتكون ماكينة الحفر من الأجزاء الآتية :

١ – الدرع الأمامي Shield :

الجزء الأمامي من الدرع عبارة عن مروحة قاطعة مزودة بأسنان قوية – تدور بسرعه ٢ لفة / دقيقة . يضغط الجزء الأمامي من الدرع (المروحة) بقوة كبيرة علي واجهة الدرع (علي الأرض الطبيعية) أثناء العمل ، الأمر الذي يؤدي الي هروب مياه الرشح لمسافة ما أمام المروحة القاطعة . عند دوران المروحة تتفكك التربة و تسقط علي قمع معدني الذي ينقل بدوره نواتج الحفر الي سير ناقـــل Belt conveyor ثم الي عربات نقل الأتربة ثم الي الخارج – شكل (٦) .



مقدمة الحفارة – حالة عدم وجود مياه أرضية – نفق الشهيد أحمد حمدي أسفل قناة السويس

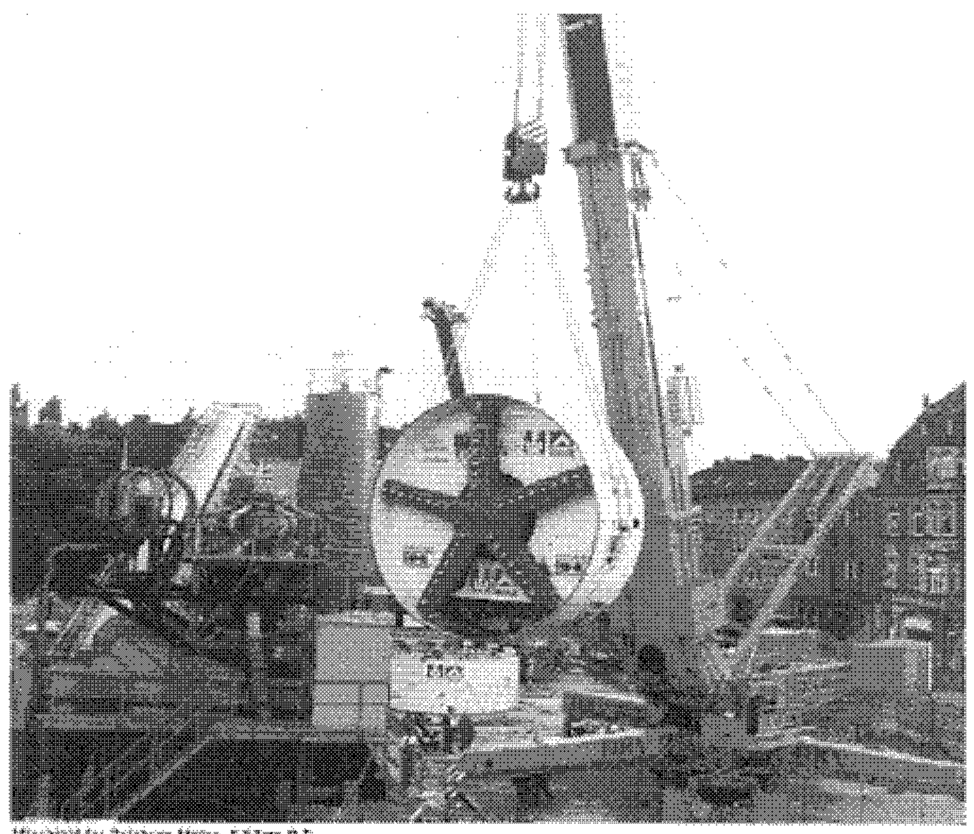


شكل (٦)

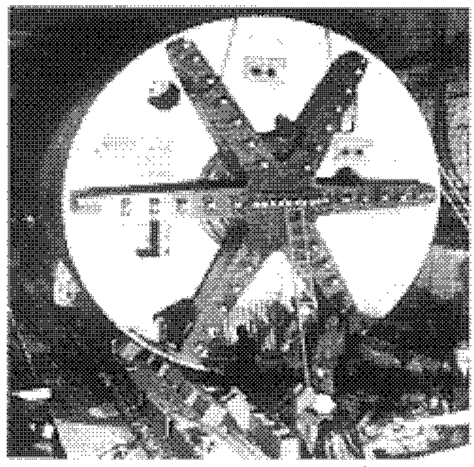
مؤخرة الحفارة – ونشاهد مقطورات الخدمة – حالة عدم وجود مياه أرضية – نفق الشهيد أحمد حمدي

مخطط يوضح مكونات ماكينة الأنفاق

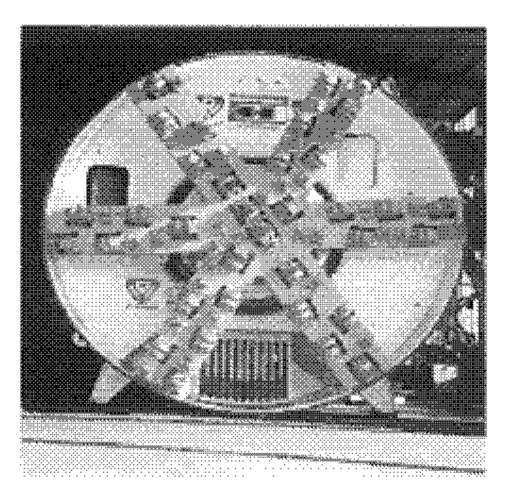
Powerful Machines for Transportation Tunnels



Mixshield for [illegible] Metro, [illegible] O.D.



Cutting wheel for Lille Metro, [illegible] O.D.



Cutting wheel for [illegible] Metro, [illegible] O.D.

شكل (٦)

أشكال مقدمة الحفارات المختلفة

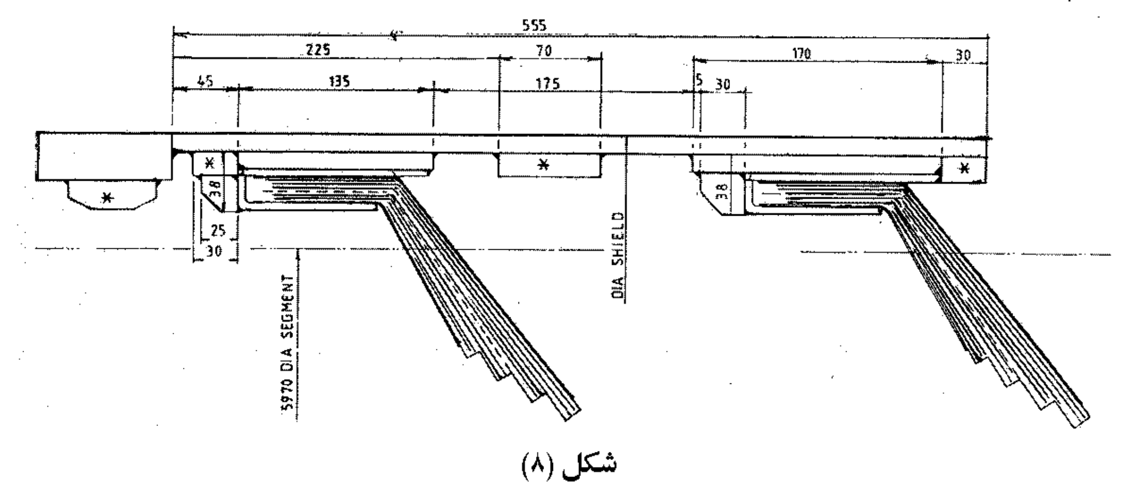
<u>ملاحظات :</u>

١ – تصمم بعض ماكينات الأنفاق لتقوم بالحفر بالترويب Bentonite Slurry Shield حيث يختلط خليط البنتونايت مع الأتربة التي يتم حفرها في حيز عند مقدمة الحفارة ، ثم يتم ضخها بطلمبات الروبة من خلال مواسير الي الخارج . تدخل هذه النواتج الي خزانات فصل البنتونايت حيث يتم فصل البنتونايت عن الأتربة لأعادة أستخدامه – دورة ضخ وسحب البنتونايت .

٢ – يزود الدرع من الخارج و علي دائرة محيطه بفرشاة سلك ملحومة به و مغطاة بمادة جيلاتينية – شكل (٨) – و ظيفتها منع رشح المياه أو مواد الحقن من الدخول الي داخل منطقه العمل .

٣ – يكون الجزء الأمامي من الدرع تحت تأثير الهواء المضغوط أما باقي الماكينة فتحت تأثير الضغط الجوي العادي مما يكون له الأثر الأكبر في سهولة العمل و زيادة معدلات التنفيذ .

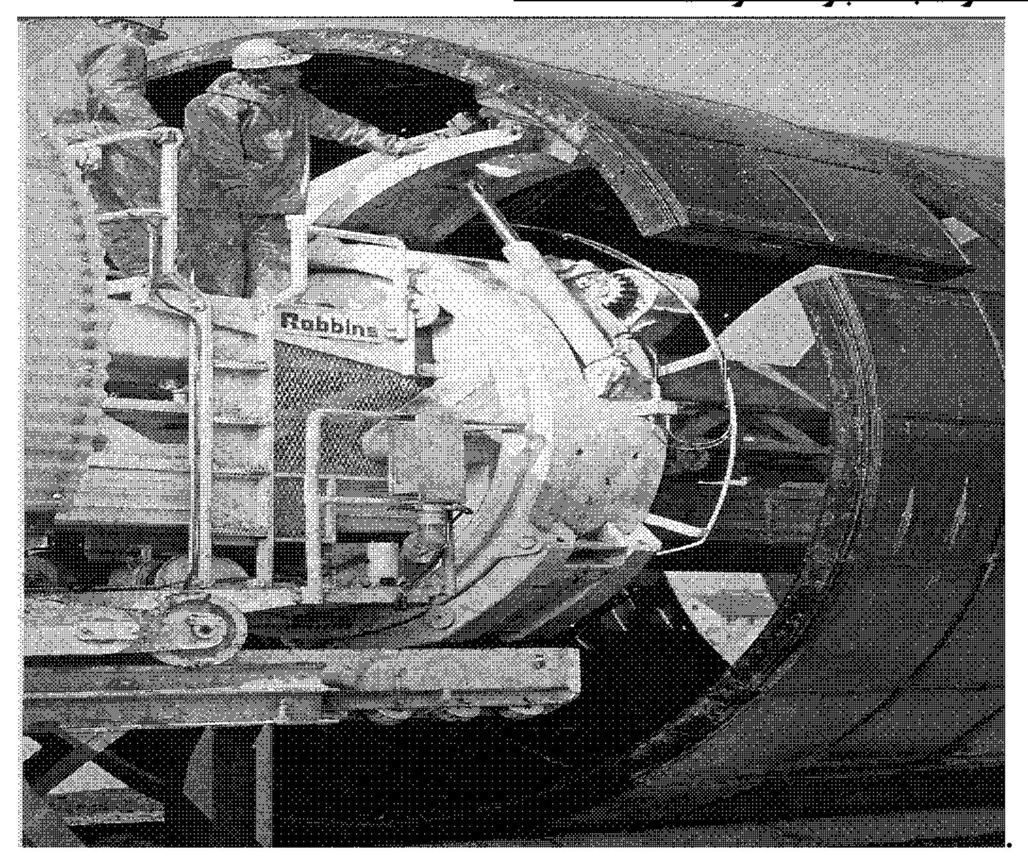
٤ – تزود الماكينة بأنظمة تهوية للتخلص من الأتربة و تجديد الهواء باستمرار ، كما تزود أيضا بنظام للأنارة و نظام آخر للأتصالات بين الداخل و الخارج لتسهيل العمل .



شكل (٨)

الفرش المركبة بين ذيل الدرع وجوانب التربة

٢ – آلة تركيب الأجزاء الخرسانية : Erector



شكل (٩)

منظر يبين آلة تركيب أجزاء التغق أثناء العمل – الصورة تبين القطع من الزهر المرن أثناء التركيب – القطع الخرسانية مماثلة . يجب أن تكون هذه الآلة خلف درع الحفارة

تتواجد هذه الآله خلف الدرع . و تقوم برفع الأجزاء الخرسانية **segments** الي مكان تركيبها حيث يقوم العمال

بتربيطها بالمسامير الصلب مع الأجزاء الأخري مكونة حلقة و كذلك تربيط هذه الحلقة في الحلقة السابقة – شكل (٩).

٣ – مقطورات الخدمة :

و هي من ملحقات ماكينة الحفر تسير معها كل خطوة و هي ٤ مقطورات :

المقطوره الأولي : تحمل السير الناقل للأجزاء الخرسانية الي آلة التركيب .

المقطوره الثانية : و تحتوي علي طلمبات الترويب التي تدفع البنتونايت الي أمام الدرع كما تحتوي علي طلمبة الروبة التي تدفع خليط التربة و البنتونايت الي الخارج – نظام الحفر بالترويب .

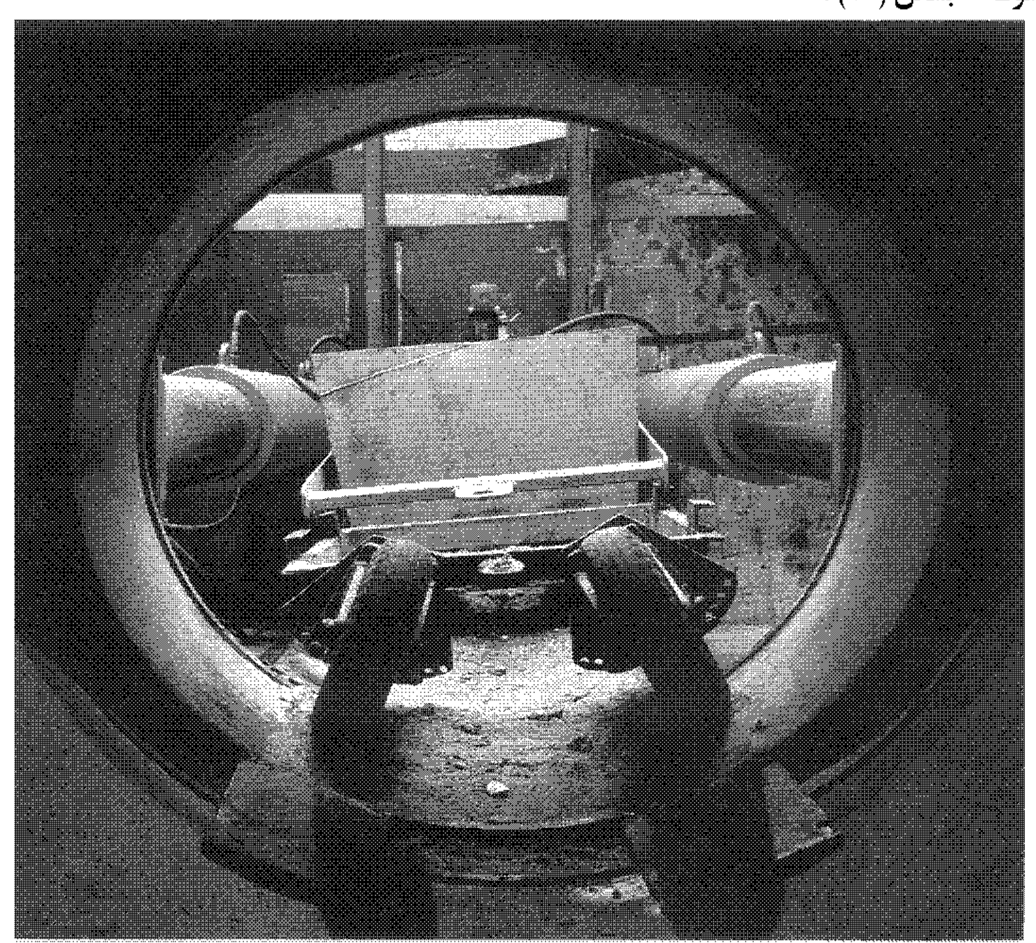
المقطوره الثالثة : تحتوي علي طلمبات ضغط الزيت و التي تدفع الزيت الي المكابس .

المقطوره الرابعة : و تحتوي علي ضواغط الهواء و معدات الحقن .

٤ – عربات نقل الأتربة : Muck Wagons

تقوم هذه العربات بنقل الأتربة الناتجة عن الحفر من داخل النفق الي الخارج . كما تقوم – في بعض الحالات – بنقل الأجزاء الخرسانية الي الداخل الي آلة التركيب .

تسير هذه العربات علي قضبان حديدية موضوعة علي البدن الخرساني للنفق و يقوم بدفع هذه العربات و تشغيلها قاطرة صغيرة تعمل بالبطاريات أو بواسطة العمالة اليدوية – كما يمكن أن تسير علي عجلات كاوتشوك – بشكل (١٠) .



شكل (١٠)

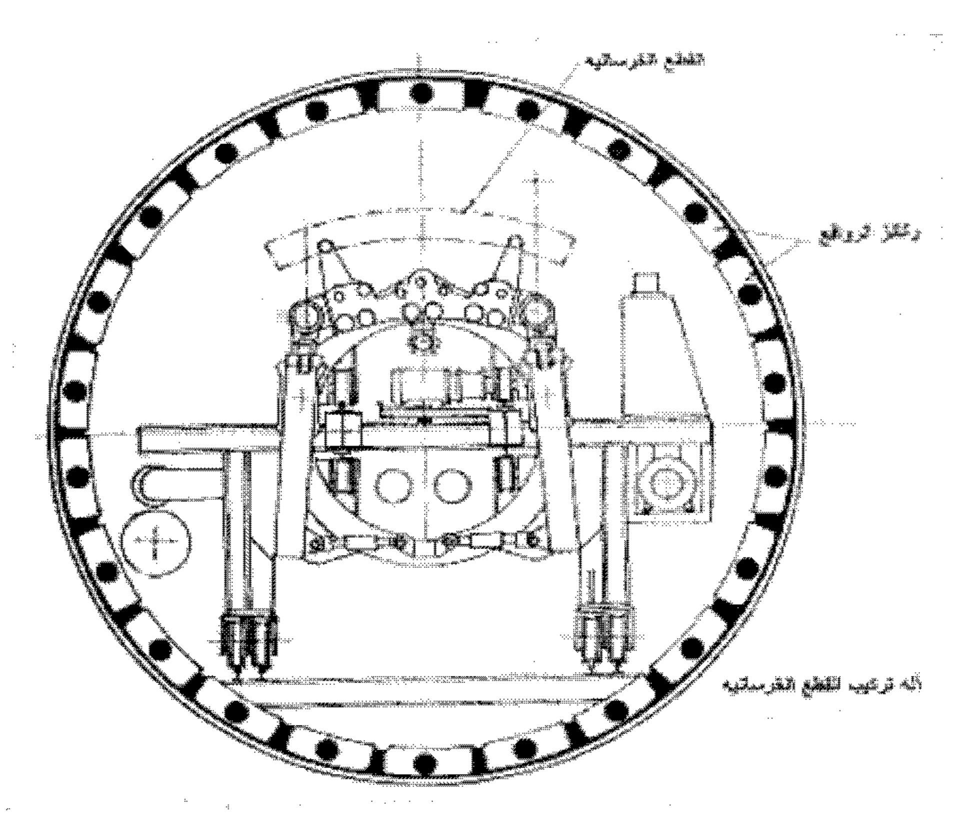
عربة نقل الأتربة من داخل النفق الي الخارج

٥ – روافع الدوران Steering jacks

الدرع مزود بمكابس هيدروليكية مثبتة علي المحيط الداخلي له ، و أقصي أنفراج لها أكبر قليلا من عرض الحلقة الخرسانية ، و الطرف الآخر مثبت علي حلقة معدنية دائرية Diaphragm . هذه الحلقة ترتكز علي آخر حلقة خرسانية تم تركيبها بالنفق .

فائدة هذه الروافع هو تصحيح مسار النفق أثناء التشغيل ، فقد يبدأ النفق في الأنحراف عن المسار المحدد فيقوم قائد الحفارة بتشغيل هذه الروافع لتصحيح المسار .

تعمل هذه المكابس أثناء عملية الحفر . ترتكز علي آخر حلقات تم تركيبها بالنفق ، فتدفع الدرع الي الأمام الي آخر أنفراج لها ثم تنكمش تاركة فراغ بين آخر حلقة خرسانية والحلقة المعدنية الدائرية يساوي عرض الحلقه الخرسانية الجديدة . يتم بناء الحلقة و رباطها بالمسامير ثم تعاود المكابس عملية الدفع مرة أخري علي الحلقة الجديدة – شكل (١١) .



شكل (١١)

الروافع المساعدة داخل المحيط الخارجي لدرع الحفارة

خامسا : الحقن :

مواد الحقن :

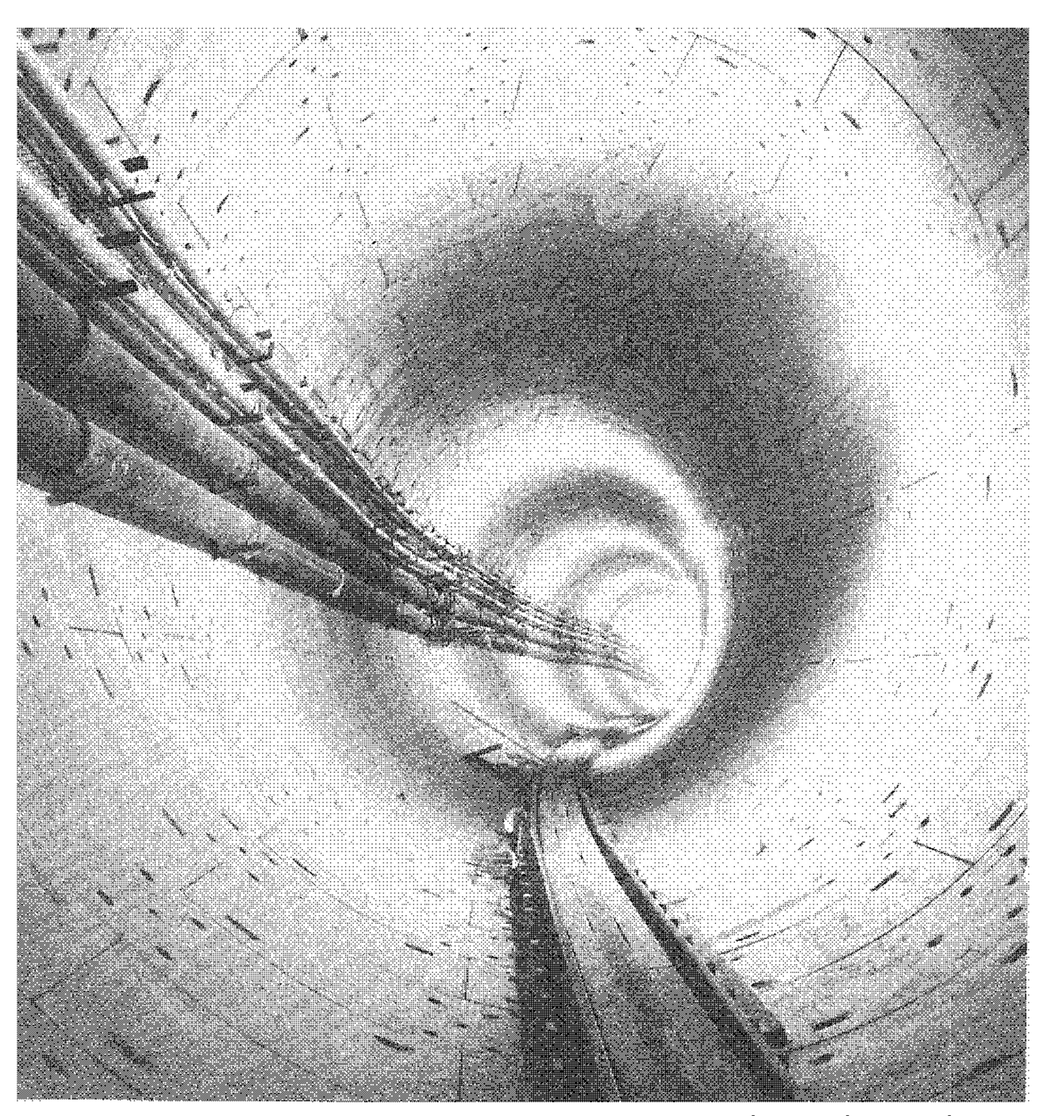
تكون مواد الحقن من الأنواع الآتية :

١ – خليط بودرة حجر جيري (١٢٠٠ كجم) + بنتونايت (٧٥ كجم) + أسمنت مقاوم للكبريتات (٣٠٠ كجم) .

٢ – بنتونايت فقط .

٣ – حقن زلط مقاس ٦ – ١٠ مم **Pea Gravel** أولا حتي يستوعب الثقب أقصي كمية ممكنة ثم يتم حقن لباني الأسمنت بعد ذلك فيملأ الثقوب ليتكون غلاف خرساني حول النفق .

و للمصمم أختيار أنسب نوع من هذه المواد .



النفق بعد أكتمال الأعمال الأعتيادية – المواسير الظاهرة هي مواسير خدمة تنفيذ النفق وهي مواسير تغذية الهواء و مواسير ضخ شفط المياه ومواسير كابلات ٠٠٠٠

طريقه الحقن :

توضع مواد الحقن بعد خلطها جيدا في وعاء الحقن ثم يغلق الوعاء . يضغط الهواء داخل وعاء الحقن لتندفع مواد الحقن خلال خرطوم ضغط عالي واصلا الي مكان الحقن . ينتهي الخرطوم بماسورة يتم تثبيتها داخل ثقب الحقن . تعطي أشاره بالتليفون أو اللاسلكي الي رجل الحقن لتشغيل ضاغط الهواء و فتح صمام خروج مواد الحقن . و عندما يلاحظ عدم قبول مزيد من الحقن – تعطي أشارة بالتليفون للتوقف عن الحقن . يتم وضع سدادة داخل الثقب لعدم خروج مواد الحقن الي الخارج .

سادسا : التبطين الداخلي للنفق :

تبطن الأنفاق بأحدي الطرق الآتية :

١ – تبطين بوحدات سابقة التجهيز .

٢ – تبطين ببلوكات سابقة الصب من الخرسانة .

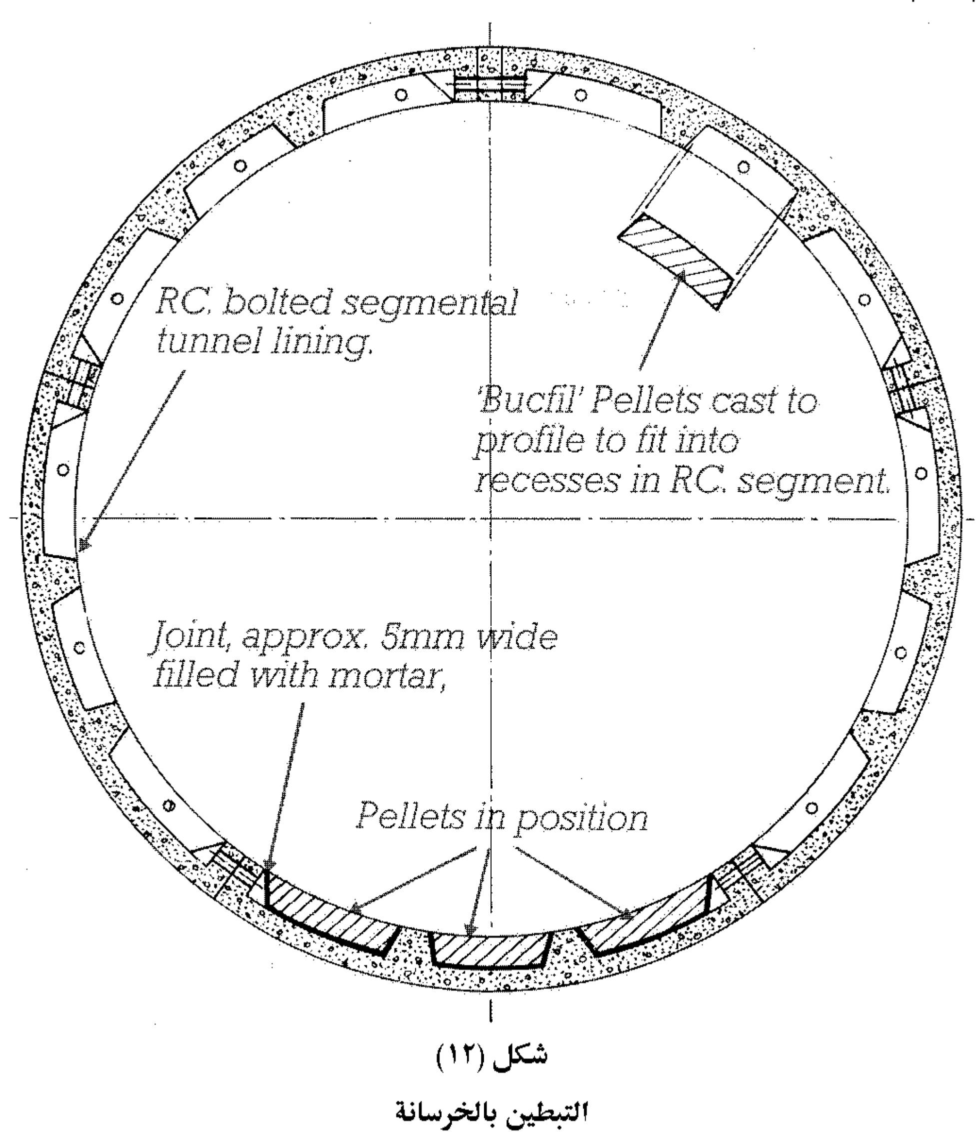
٣ – تبطين بالطوب الأزرق (حالة أستخدام النفق في الصرف الصحي) .

١ – تبطين بوحدات سابقة التجهيز :

و هي عبارة عن قطع من الخرسانة المسلحة السابقة الصب و يمكن أن تكون من الزهر المرن – و تستعمل عادة في الأنفاق المستديرة – و يتم رباطها معا بمسامير خاصة كما يوضع حلقة مطاطية مبطنة بين هذه الحلقات لمقاومة رشح المياه من خارج النفق الي داخله (مثل طريقه الأنفاق المجزأه) .

٢ – تبطين بالخرسانة :

تستخدم الفرم المعدنية سهلة الفك والتركيب لصب الخرسانات وتبطين النفق – شكل رقم (١٢) .



شكل (١٢)

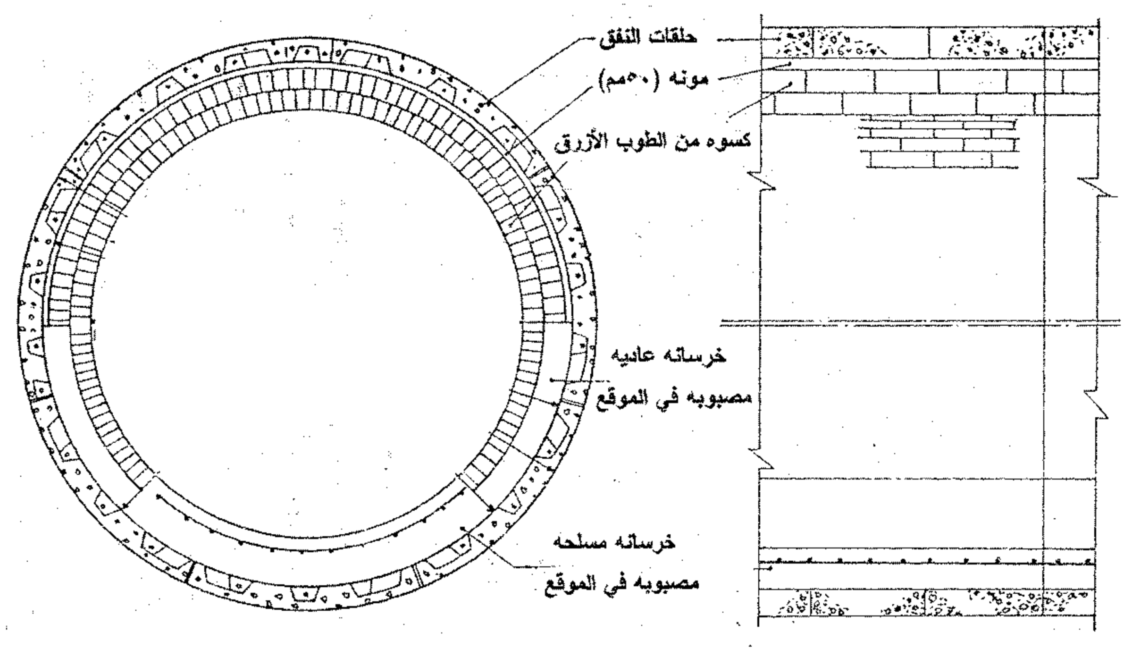
التبطين بالخرسانة

٣ – التبطين بالطوب الأزرق :

في أنفاق الصرف الصحي فقط ، تتم عملية التبطين بالطوب الأزرق حيث يعتبر الطوب الأزرق المقاوم للأحماض من أفضل الوسائل للعزل ضد مياه الصرف الصحي . و تجدر الأشارة الي أن أنفاق الصرف الصحي بالقاهره الكبري قد تم تبطينها بالطوب الأزرق .

عادة يتم بناء الطوب الأزرق يغطي ٢٧٠ درجة من دائرة النفق العليا و الباقي يكون من الخرسانة المسلحة أسفل قطاع النفق . يتم عمل بياض مقاوم للكبريتات عليها . فبعد أتمام صب الجزء الأسفل يبدأ البناء

بالطوب الأزرق . يفضل لصق شريط ورقي علي حافة الطوبة بداير محيطها بالأضافة الي وضع شرائح من البوليسترين بين الطوب لتسهيل ملء الفواصل بين الطوب بالأيبوكسي المقاوم لمياه المجاري- قطاع الشرائح ٨ مم (عرض) × ٢,٦ سم (عمق) - شكل (١٣) .



شكل (١٣)

التبطين الداخلي لنفق صرف صحي بالطوب الأزرق

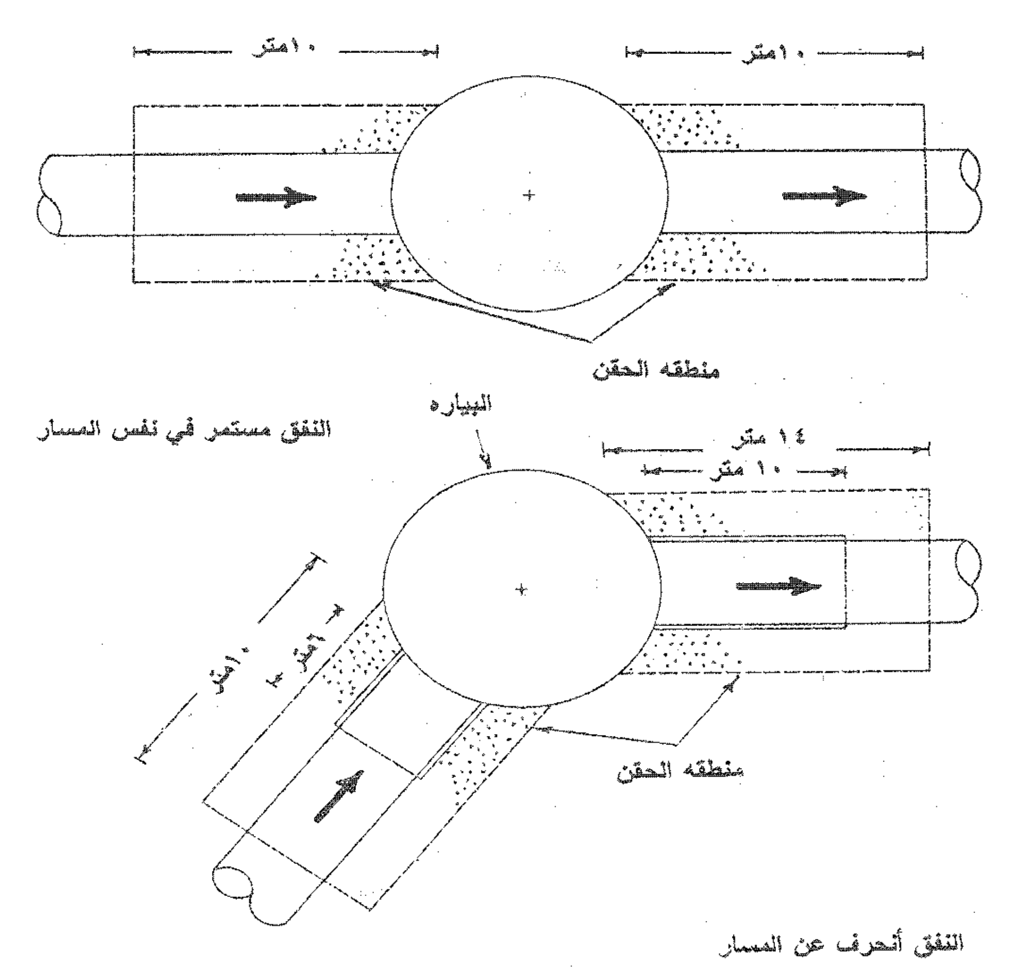
نبدأ عمل المباني باستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات مع وضع الشرائح الرأسية بين الطوب . بعد نهو المباني تنزع الشرائح و ينظف مكانها تماما بالهواء ثم تملأ العراميس بمونه أيبوكسية مقاومة للأحماض مثل F.M.A. ١٥١ (مواصفات الجهاز التنفيذي للصرف الصحي - أنفاق الصرف الصحي في القاهرة الكبري) .

و تبطين الجزء العلوي من النفق يلزم عمل شدة معدنية بسيطة سهلة الفك للتمكين من حمل الطوب للجزء العلوي حتي تمام الشك . يبقي الجزء العلوي من التبطين (٤ طوبات) لم يمكن وضع مونة البياض خلفهما - لذا يتم عمل ثقوب في هذا الجزء ثم حقن لباني الأسمنت من خلالها ليملأ الفراغ بينها وبين النفق .

سابعا : الأنفاق المساعدة : Transition Chambers

بعد أنشاء البيارة **Shaft** وعند الأستعداد لبدأ أنشاء النفق - يلاحظ أن أبعاد البيارة لا تستوعب معدات النفق و ملحقاته . لذا فأنه يتم أنشاء نفق صغير - قطره الداخلي يزيد ٣٠ سم عن القطر الخارجي للنفق الأصلي و طوله حوالي ٦ أمتار عند دخول النفق الأصلي الي البيارة و بطول ١٠ متر بعد الخروج منها للتمكين من دخول وخروج معدات الحفر . ينشأ هذا النفق من أجزاء خرسانية و يتم تنفيذه يدويا (الحفر وتركيب الحلقات) و باستخدام الهواء المضغوط - شكل (١٤) . عند نهاية النفق يتم صب سدادة من المونة الخرسانية (جزء أسمنت : ٢٠ جزء رمل) لصلب التربة بسمك ٤٠ سم.

من الضروري أيضا حقن منطقة النفق المساعد لمنع رشح المياه الي الداخل (حول آخر حدود النفق بمسافه ٢ متر) . بعد تركيب معدات النفق و بدأ العمل و بعد أتمام بناء النفق الأصلي في هذا الجزء يتم حقن الفاصل بين النفقين - كما يتم معالجة و حقن ما بين حائط البيارة و بداية النفق لمنع أي رشح من الخارج .



شكل (١٤)

الأنفاق المساعدة

عند وصول النفق لموقع بيارة – علي مساره – فيمكن أن يكون هناك أحد الوضعين الآ تيين :

١ – النفق مستمر في نفس المسار و علي أستقامة واحدة : و في هذه الحالة لا يعمل أي أنفاق مساعده لا عند الدخول و لا عند الخروج . و يجب الردم داخل البيـارة بمونة من الرمل + الأسمنت بنسبة (١ : ٢٠) مع الدمك والي أرتفاع فوق النفق الأصلي يساوي ضعف قطر النفق حتي يمكن لماكينة الأنفاق من أختراق حوائط البيارة و الردم داخلها دون أي عوائق كما لو لم تكن هناك بيارة .

٢ – النفق يغير من مساره بزاويه أنحراف : يتطلب الأمر في هذه الحاله بناء نفق مساعد بطول ١٠ متر عند الخروج من البيارة و نفق آخرعند الدخول بطول ٦ متر . كما يراعي حقن مناطق النفقين . يلاحظ في هذه الحالة القيام بفك الماكينة الي أجزاء ثم أعادة تركيبها في نفس البيارة في أتجاه الخروج .

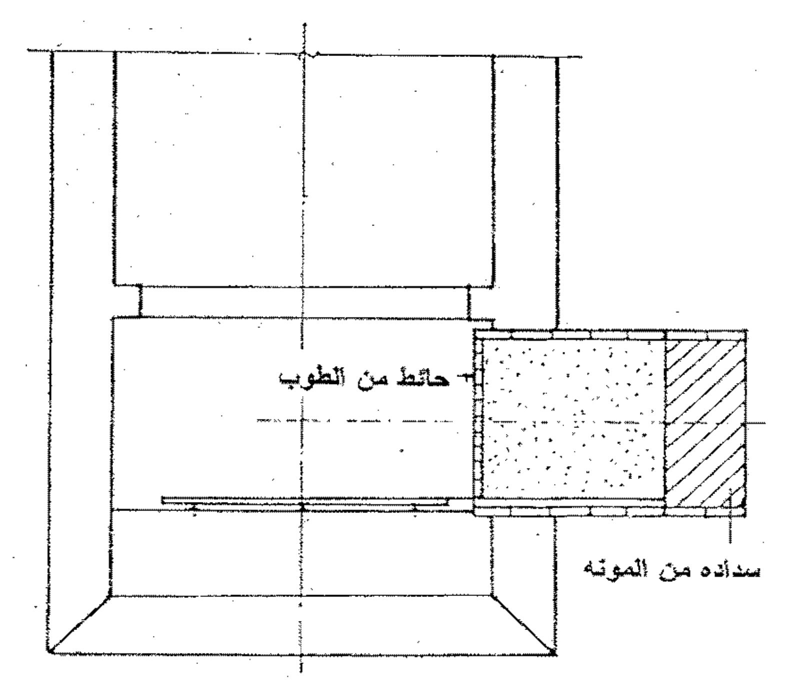
خطوات تنفيذ النفق :

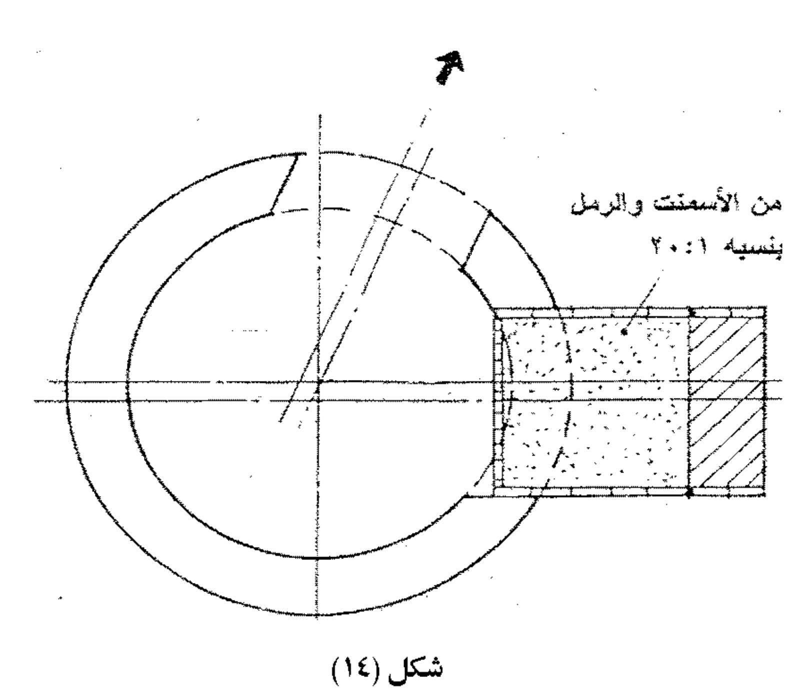
المرحلة الأولي :

١ – الأنتهاء من أنشاء البيارة الأولي و البيارة التالية – علي الأقل .

٢ – عمل التخطيط المساحي لمحور النفق و الأنتهاء من النفق المساعد .

٣ – حقن المنطقة المحيطة بالنفق المساعد ثم يتم تنزيل الدرع و يضبط في الأتجاه و الميل المطلوب – شكل (١٤) .



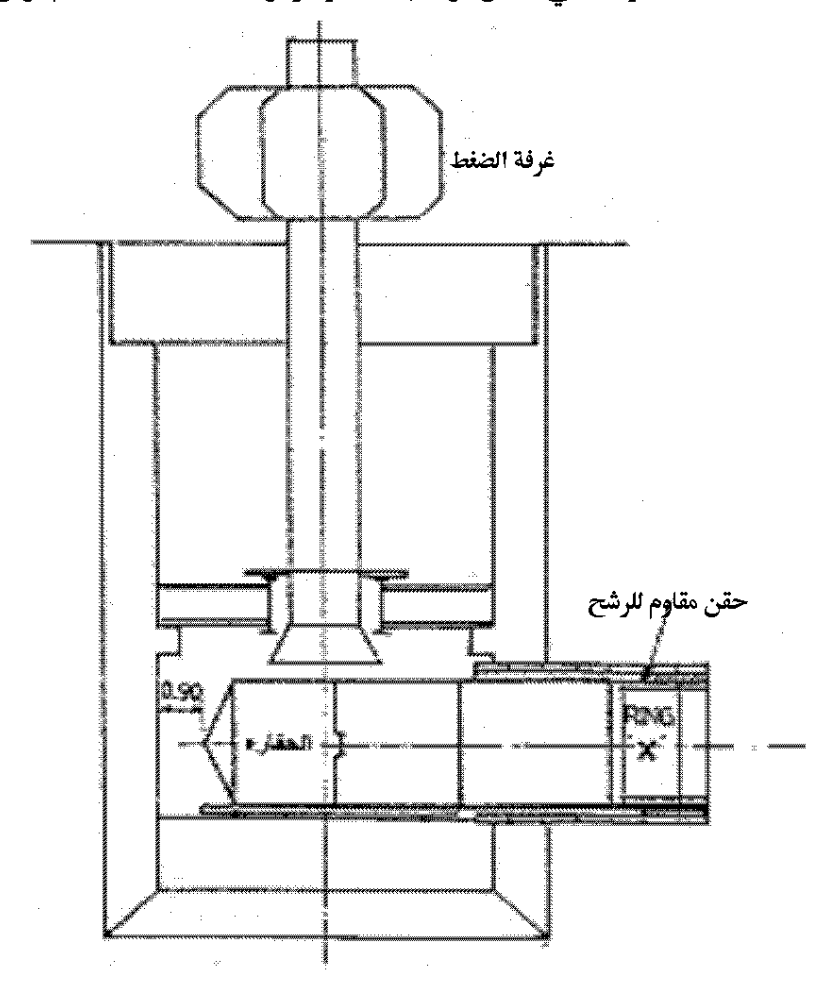


شكل (١٤)

الأنفاق المساعدة

المرحلة الثانية :

١ - تركيب معدات ضغط الهواء حتي يمكن تركيب الحفارة وعربات الخدمة ٠٠٠ ثم تزال بعد ذلك .

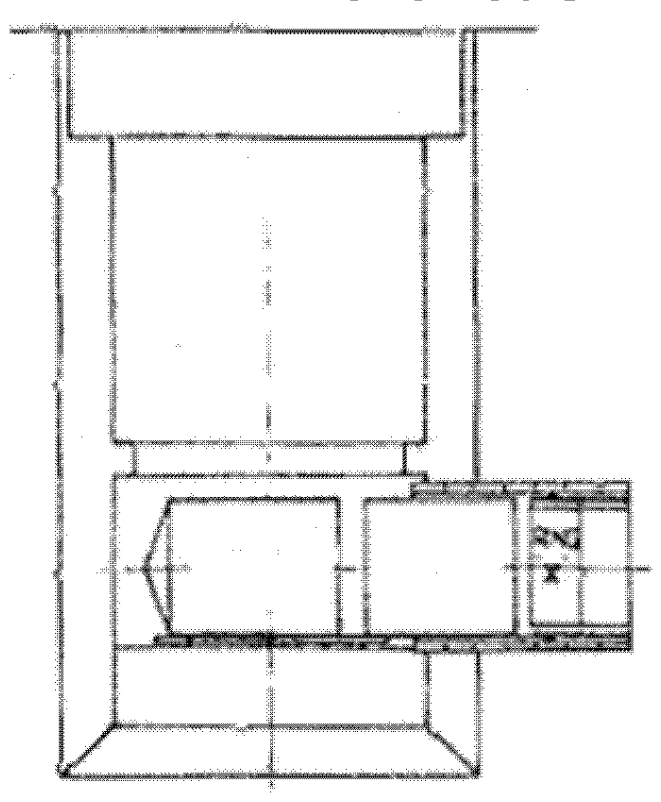


المرحلة الثالثة :

١ - أختراق الحفارة للسدادة المونة - دخول الحفارة في داخل البيارة .

٢ - دفع مقدمة الحفارة لتكون علي بعد ٩٠ سم من حائط البيارة .

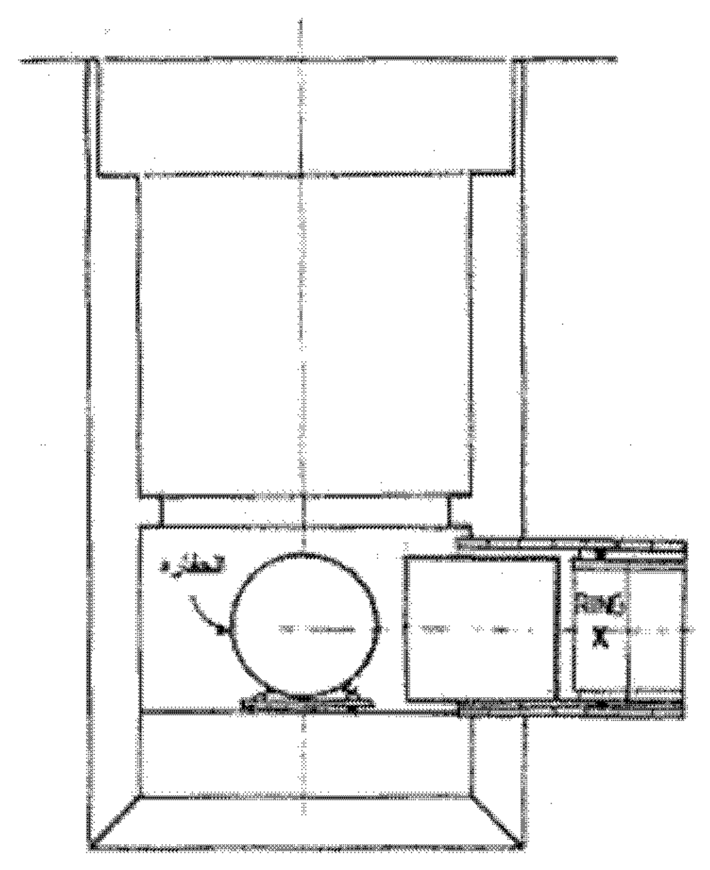
٣ - حقن الحلقة الخرسانية لمنع الرشح داخل النفق .



المرحلة الرابعة :

١ – أزالة معدات الهواء المضغوط .

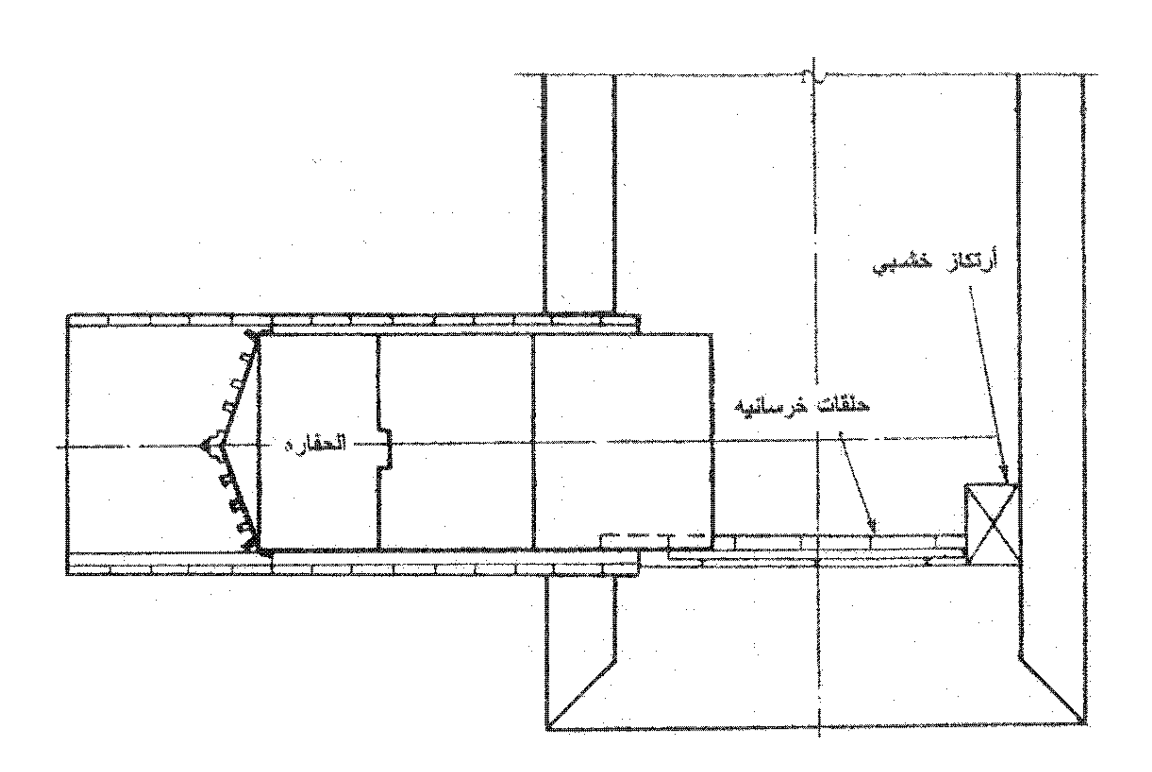
٢ – فصل مقدمة الحفارة عن باقي العربات ودفعها الي داخل الغرفة . تكـون عربـات الخدمـة داخـل النفـق المساعد .



المرحلة الخامسة :

١ – رفع وتحويل الحفارة الي وضع ومسار النفق .

٢ – نقل ورفع العربات المتحركة الي الغرفة و تحويلها خلف الحفارة . تبدأ أعمال حفر النفق .

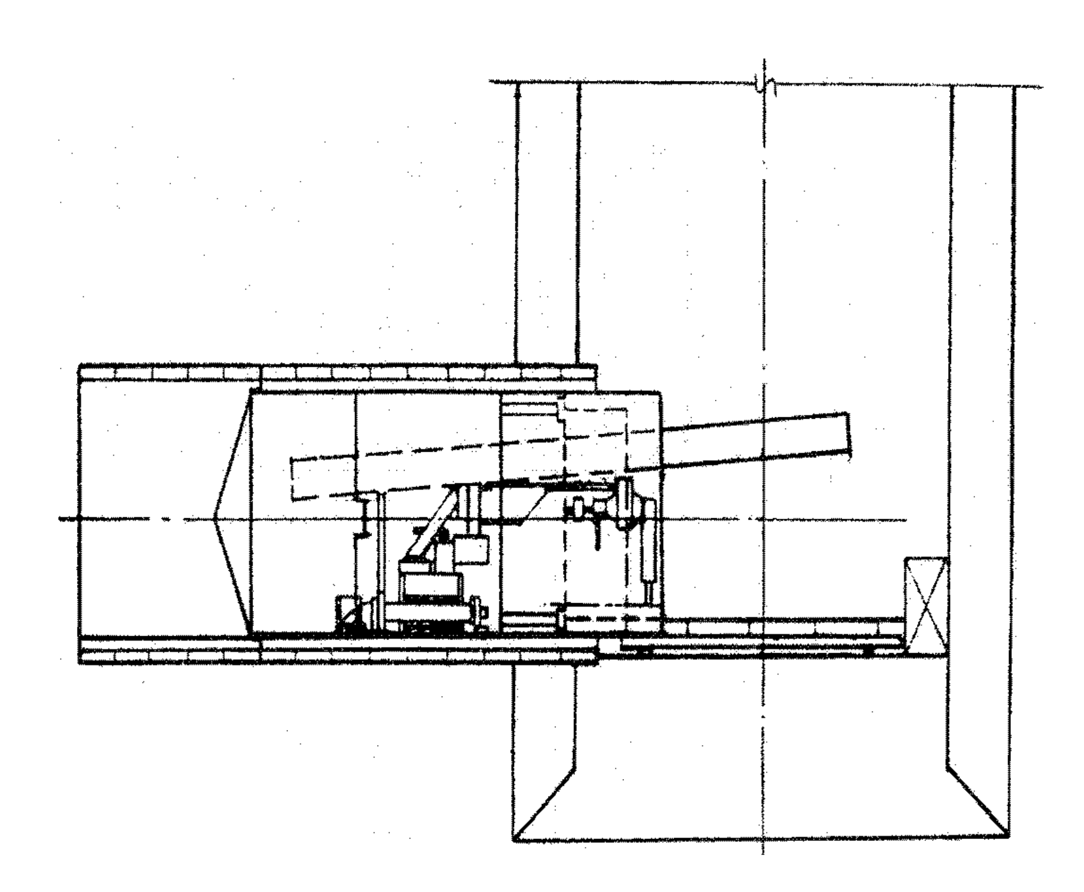


المرحلة السادسة :

تركيب دكم خشبية (تعمل كأرتكاز) عند حائط البيارة .

بناء نصف حلقات النفق السفلية (مؤقتا) تعمل كأرتكاز .

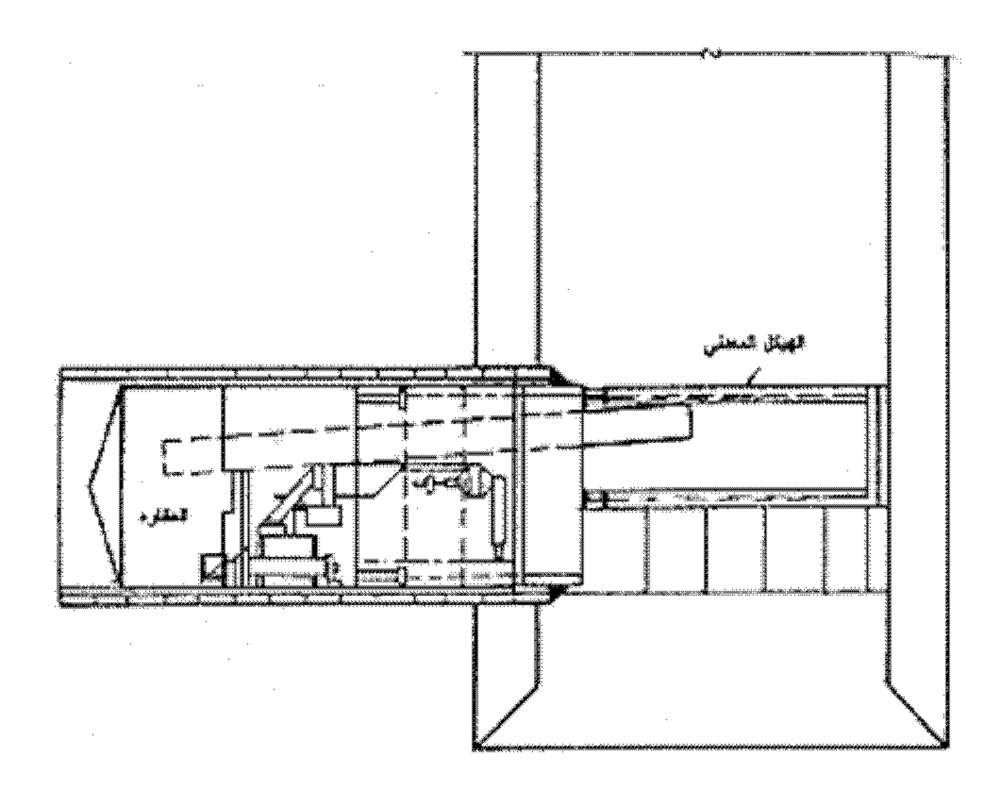
تركيب آلة تركيب القطع الخرسانية ثم باقي مقطورات الخدمة .



المرحلة السابعة :

١ – أستخدام المكابس السفلية في دفع الحفارة الي داخل النفق مرتكزة علي الحلقات الخرسانية السفلية .

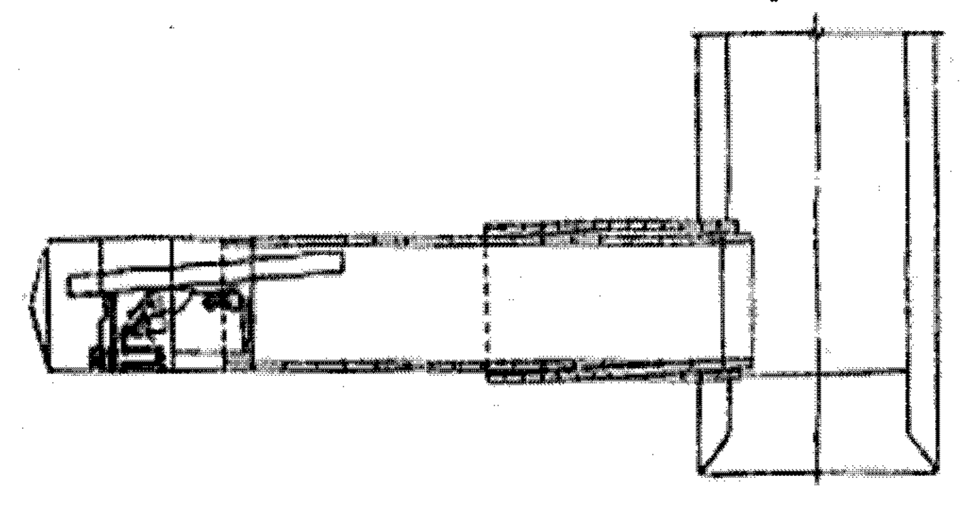
٢ – بناء الحلقة الأولي في النفق الدائم .



المرحلة الثامنة :

١ – أزالة الحلقات الخرسانية التي أستخدمت كأرتكاز من البيارة .

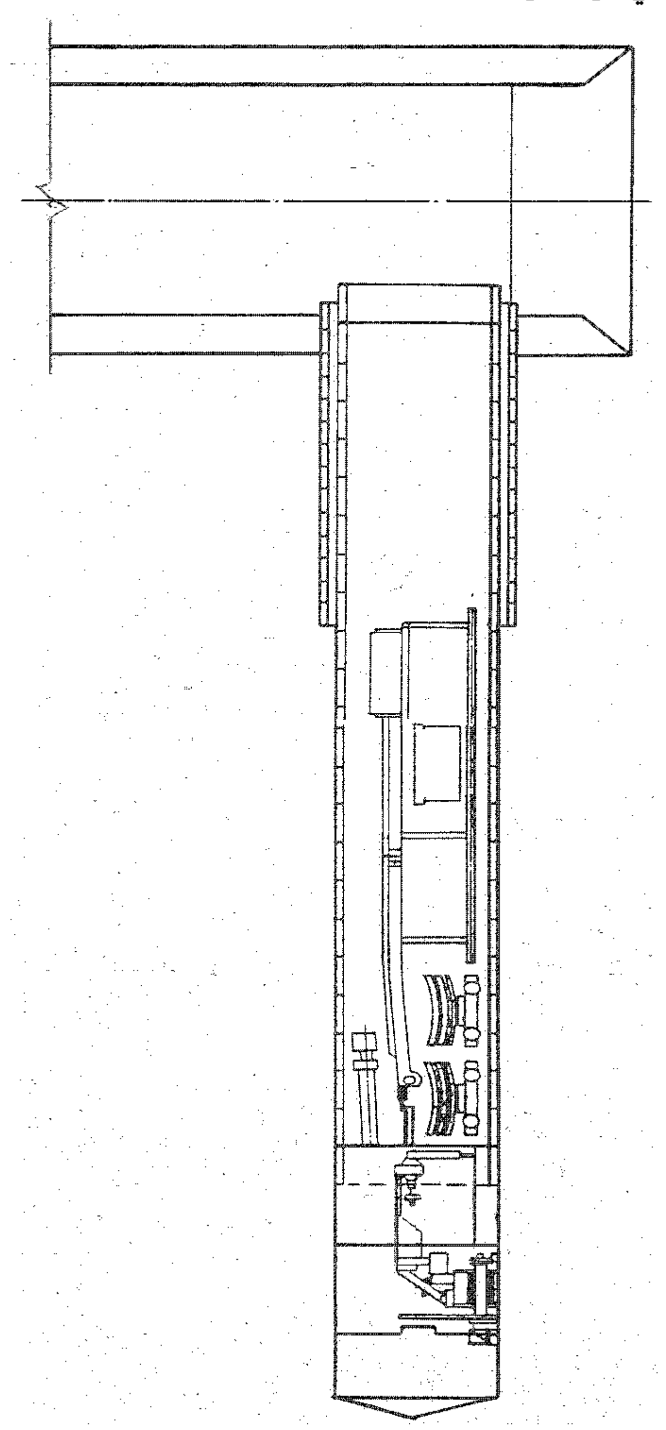
٢ – تركيب هيكل المعدني ليعمل كأرتكاز للحفارة .



المرحلة التاسعة :

١ – دفع الحفارة الي الأمام .

٢ – أزالة الهيكل المعدني من البيارة .



شكل (١٥)

مراحل بناء غرفة الدفع مع تركيب الحفارة

تنفيذ النفق :

١ – عمل التخطيط المساحي للنفق – الباب السابق . يتم تنفيذ البيارات وتركيب الحفارة مع ملحقاتها .

٢ – تبدأ الروافع في الأنفراج و في نفس الوقت تبدأ عملية الحفر . تختلط الأتربة بخليط البنتونايت الوارد اليها من محطة الخلط وتقوم طلمبات الروبة بسحب خليط هذه المواد الي أعلي الي محطة فصل البنتونايت لأعادة أستعماله بينما تجفف الأتربة وتنقل خارج الموقع . و عند الأنتهاء من أنفراج الروافع – يقوم مشغل الماكينة بأعادة الروافع الي وضع الأنكماش .

يراجع مشغل الحفارة باستمرار لوحة أستقبال أشعه الليزر المجاورة له لضمان دقة الأ نحدار والأفقية وتعديل المسار بواسطة الروافع المساعدة أذا لزم الأمر .

٣ – تأتي الأجزاء الخرسانية الي موقع الدرع لتقوم آله تركيب الأجزاء الخرسانية برفعها الي الموقع المحدد لها و يقوم العمال بتثبيت الحلقة المطاط عليها وربط المسامير .

٤ – يستمر العمل بعد تركيب آخر حلقة و تبدأ الروافع في الأ نفراج ثانية مرتكزة علي آخر حلقة و هكذا .

ملاحظة :

لا يجب أن تتوقف للماكينة أطلاقا حيث يمكن حدوث ألتصاق طبقات الأرض بالدرع من الخارج الأمر الذي سيتسبب في مشاكل كبيرة . و قد يحدث التوقف ذلك لأسباب قهرية مثل تعطل الماكينة و خلافه . و في حالة عدم قدرة الماكينة علي العمل – يتم تثليج التربة Ground freezing أو يتم عمل بيارة فوقها تماما و النزول بها حتي الماكينة – مع أستخدام الهواء المضغوط – و ذلك لعمل الأصلاحات اللازمة ثم أستئناف العمل . وقد حدث ذلك في محطة الصرف الصحي بالأميرية عند دخول النفق عليها .

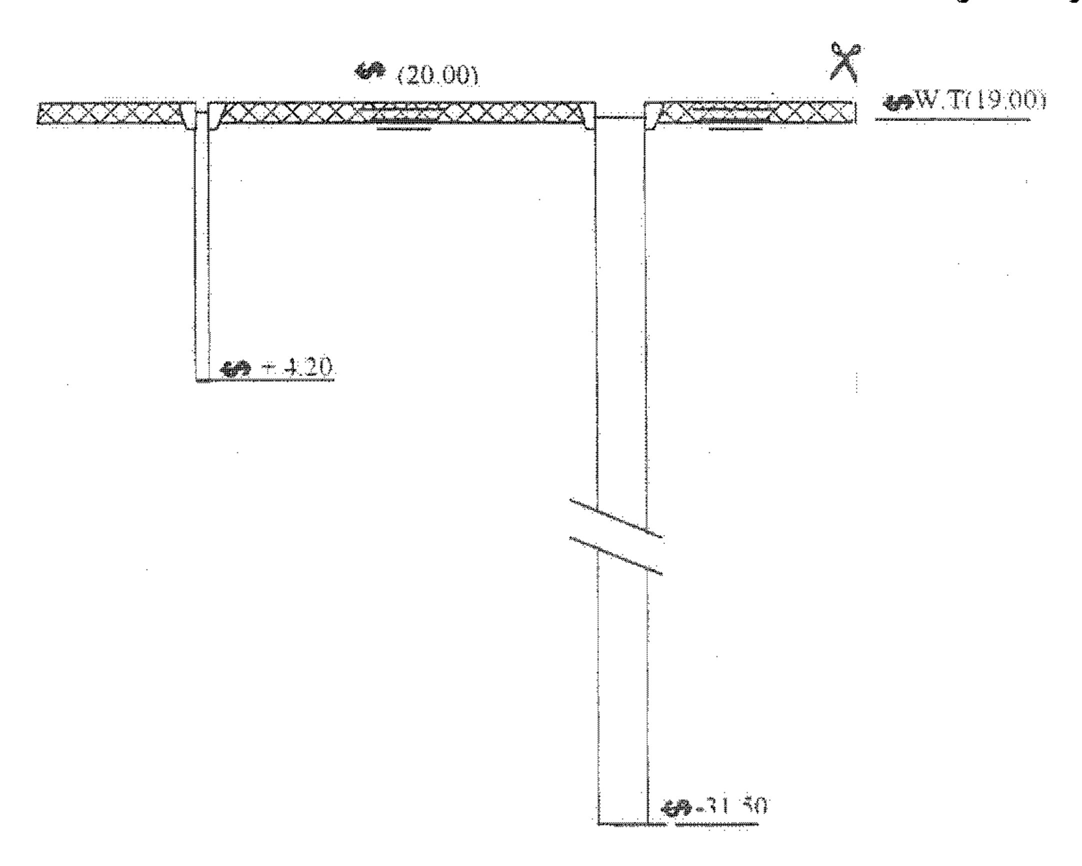
المحطات المنشأة علي أنفاق المواصلات :

المحطات تكون ذات مباني كبيرة ضخمة ولا يصلح لها سوي طريقة حوائط الديافرام .

خطوات التنفيذ :

المرحلة الأولي :

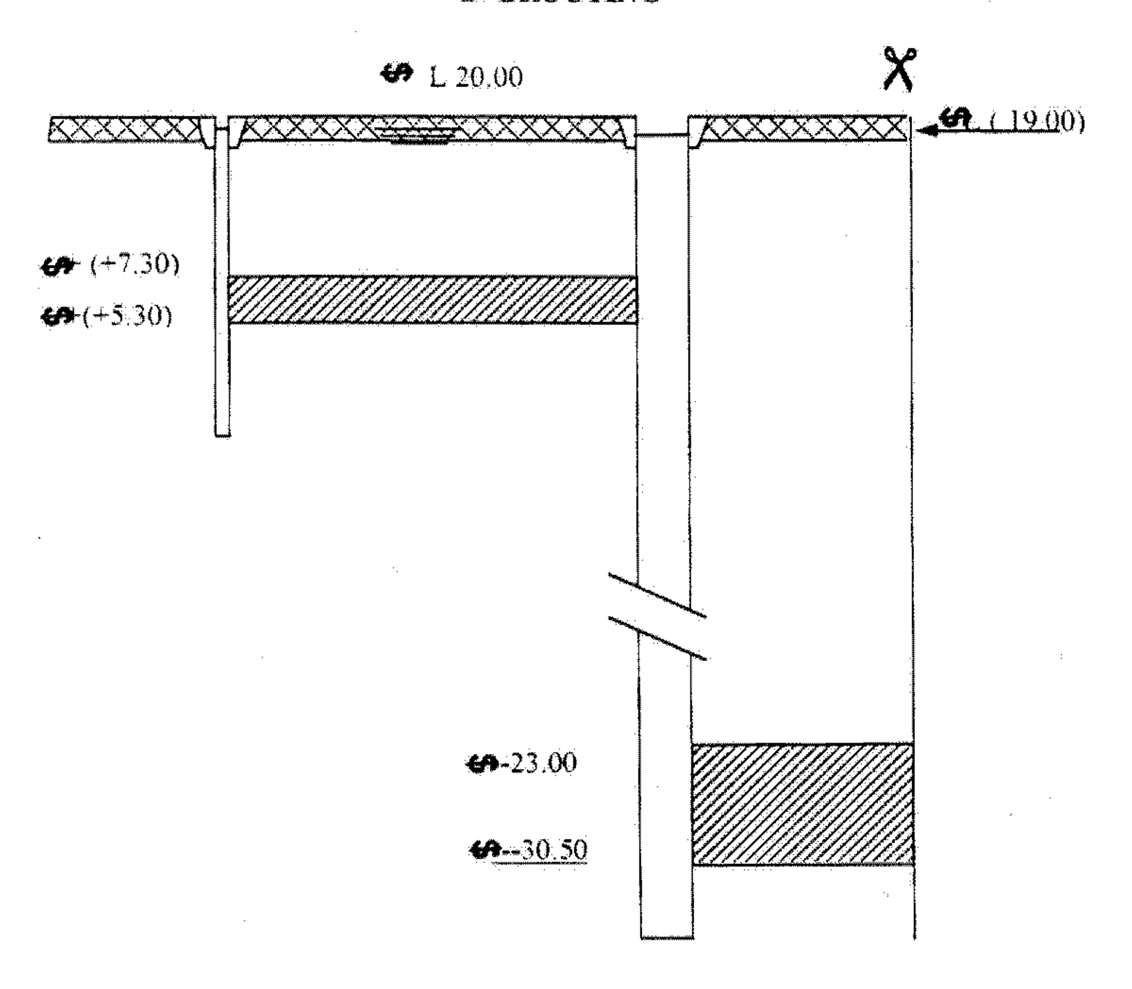
١ – تخطيط وأنشاء الحوائط اللوحية **Diaphragm wall** – الحائط الرئيسي وحائط الملحق (مكان صرف التذاكر) .



المرحلة الثانية :

٢ – عمل ستارة من الحقن أسفل حيز التذاكر وحيز المحطة لمقاومة مياه الرشح .

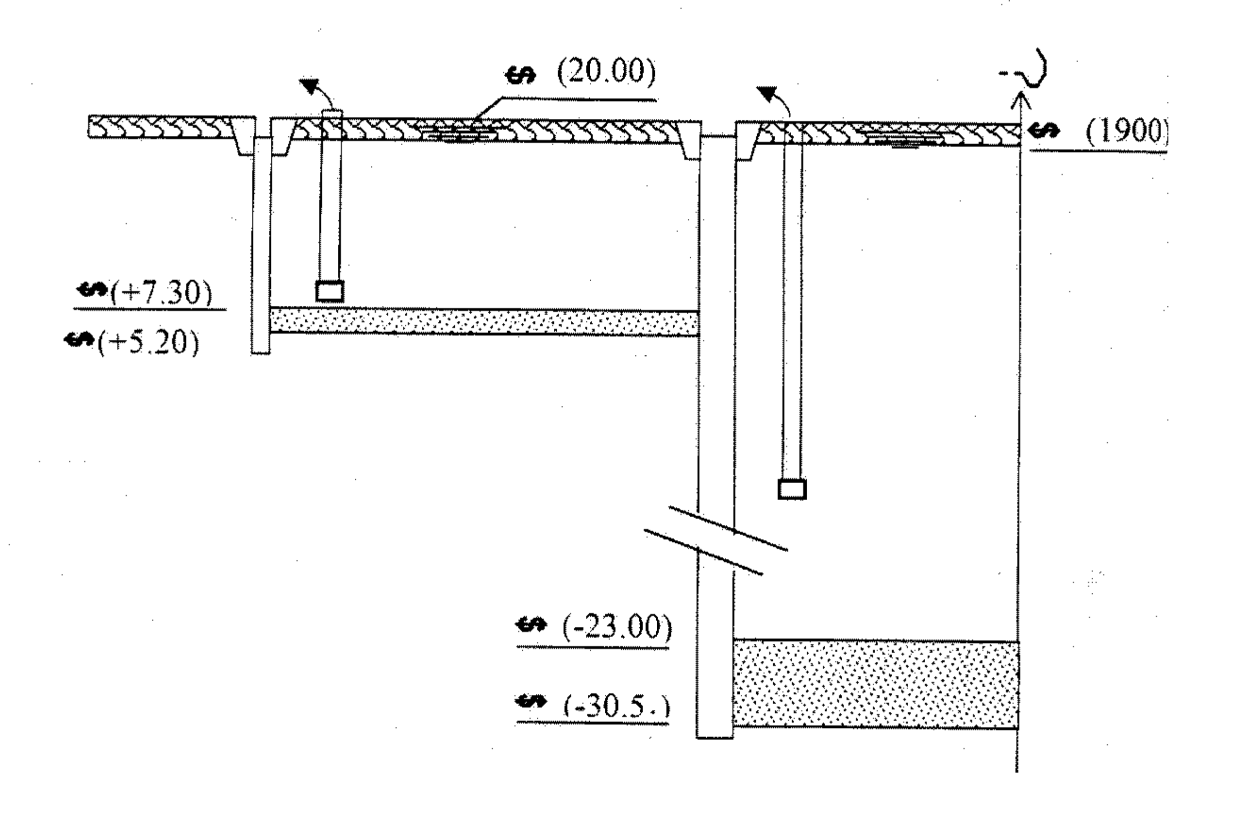
2- GROUTING



المرحلة الثالثة :

نزح المياه الأرضية بالنزح الجوفي العميق Deep wells .

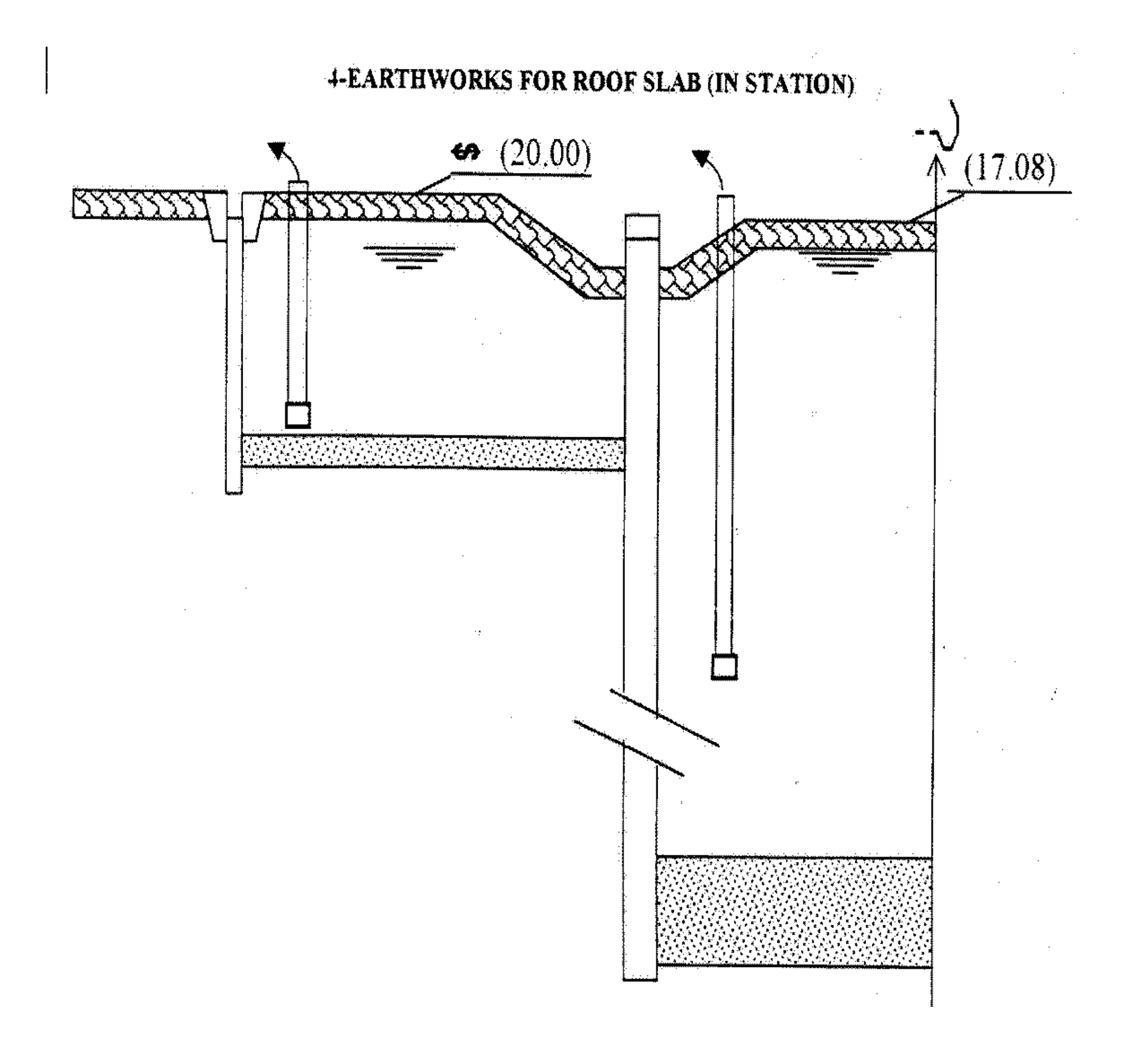
3- Pumping



المرحلة الرابعة :

١ – صب و أنشاء السقف الرئيسي .

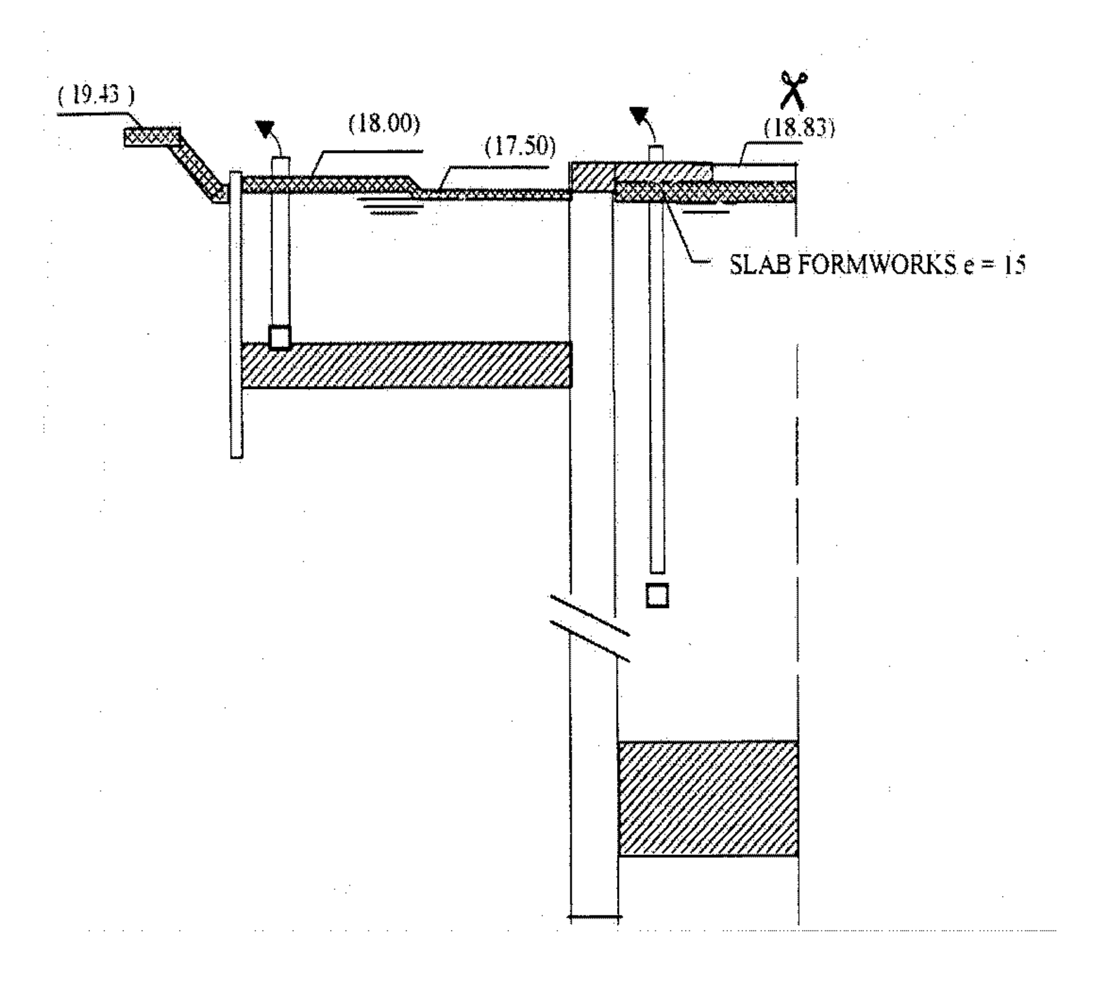
٢ – حفر في منطقة الملحق (منطقة حجز التذاكر)



المرحلة الخامسة :

١ – صب سقف الملحق (غرفة صرف التذاكر) .

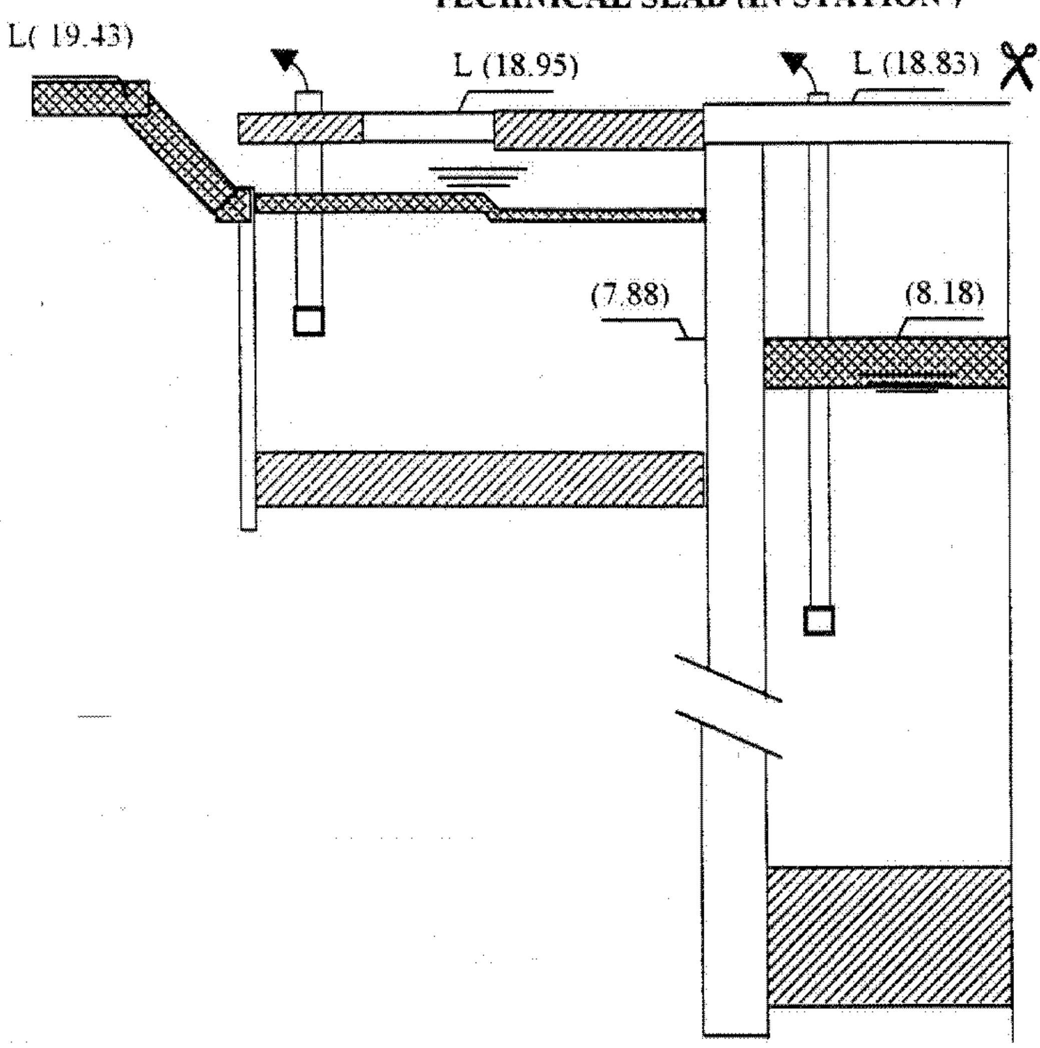
٢ – الحفر داخل المحطة الرئيسية .



المرحلة السادسة :

١ – صب سقف المحطة الرئيسية .

٢ – حفر الملحق (غرفة صرف التذاكر) .

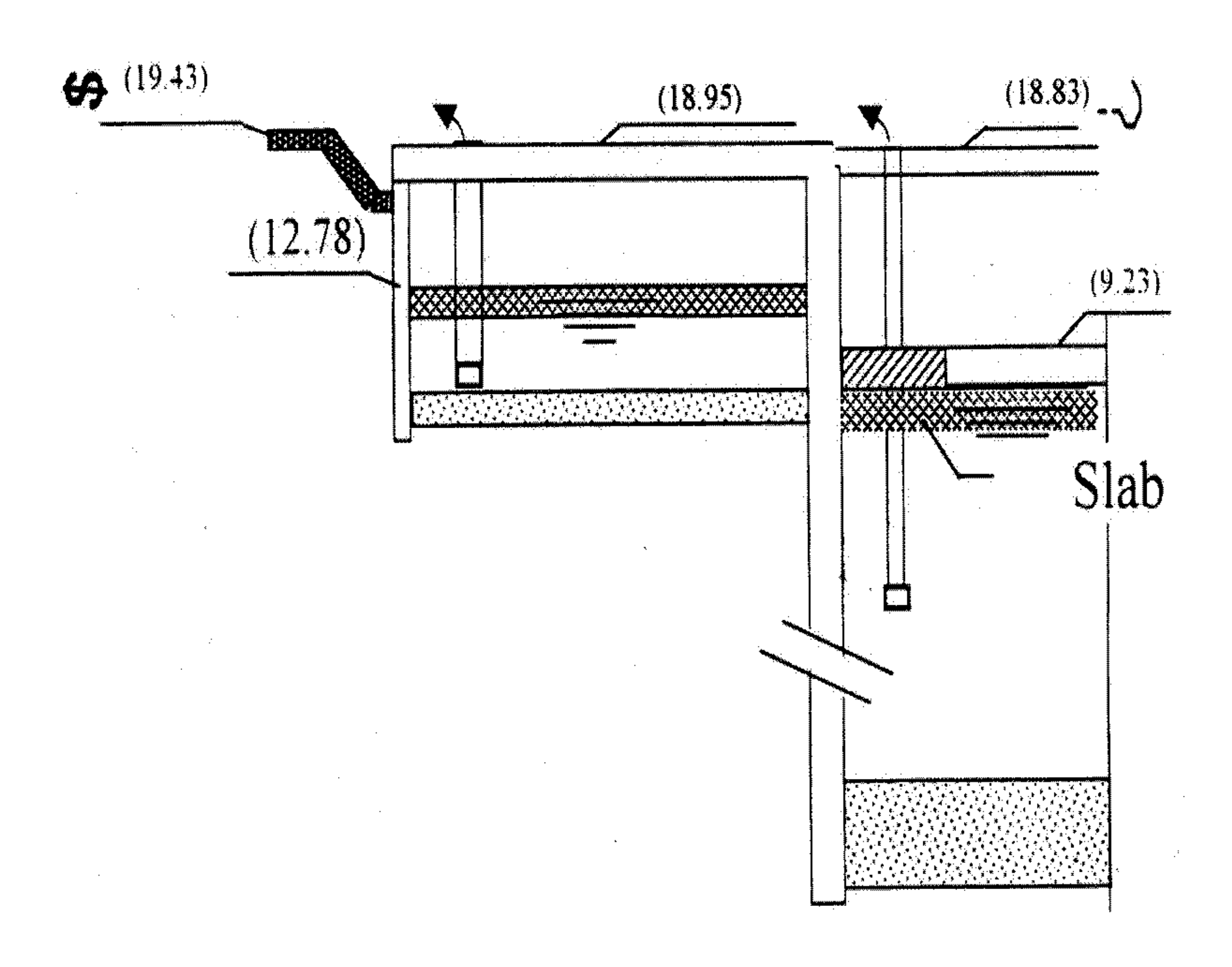


المرحلة السابعة :

١ – صب السقف للملحق (غرفة قطع التذاكر) .

٢ – أعمال الحفر للملحق .

7 - TECHNICAL SLAB CONCORETING
- EARTHWORKS FOR TICKET SLAB IN ACCESS



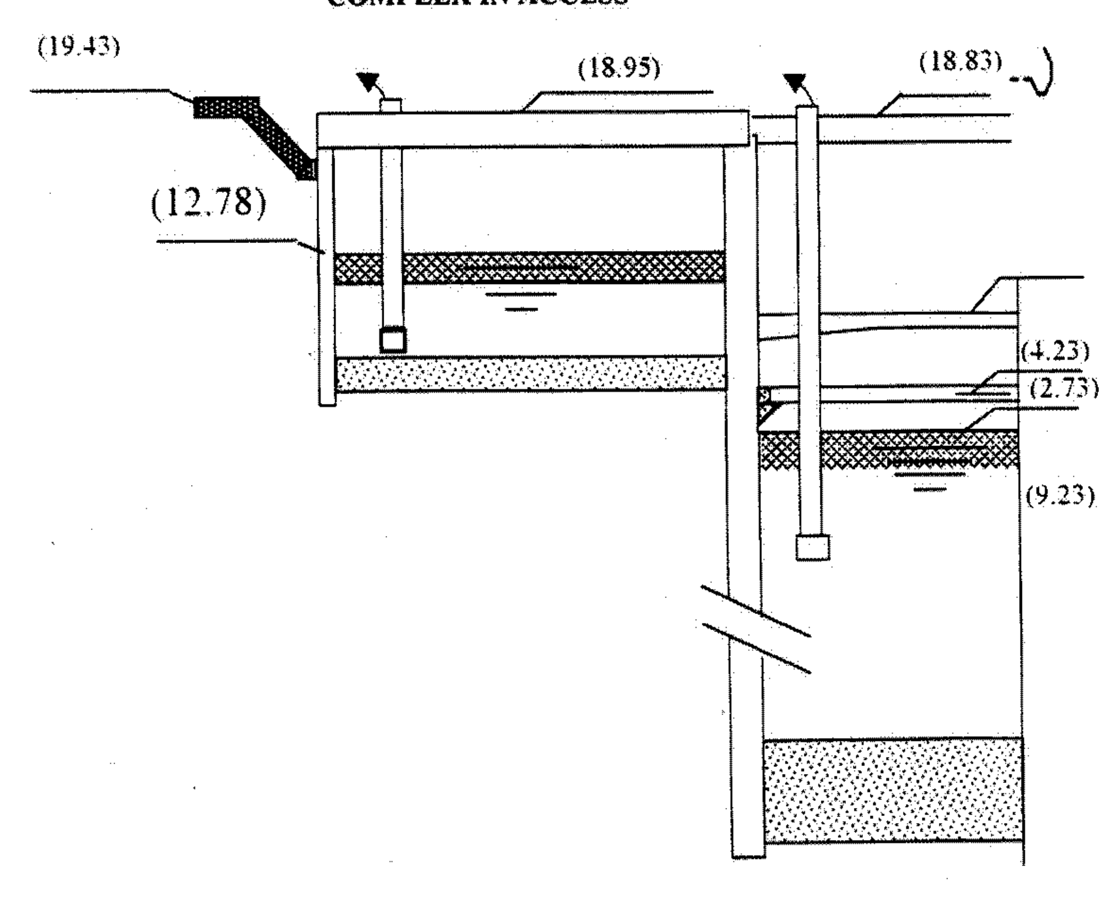
المرحلة الثامنة :

١ – أعمال الحفر لمنسوب حصيرة الأرضية .

٢ – وضع السنادات (الدكم) .

٣ – تنفيذ أعمال العزل في المداخل .

8 -EARTHWORKS TO LEVEL +2.73
-SETTING UP OF THE 1st LAYER OF STRUTS
-INSTALLING OF THE WATER PROOFING
COMPLEX IN ACCESS

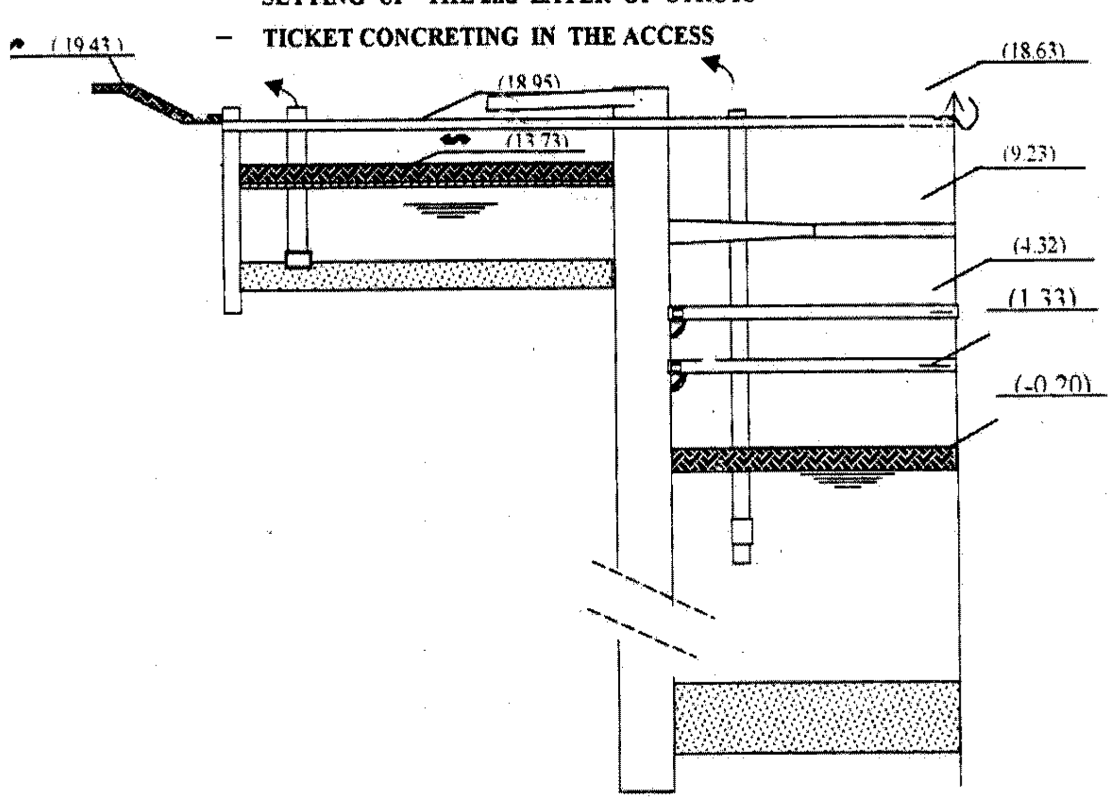


المرحلة التاسعة :

١ – حفر حتي منسوب الأرضية .

١ – تنفيذ الصف الثاني من السنادات (الدكم)

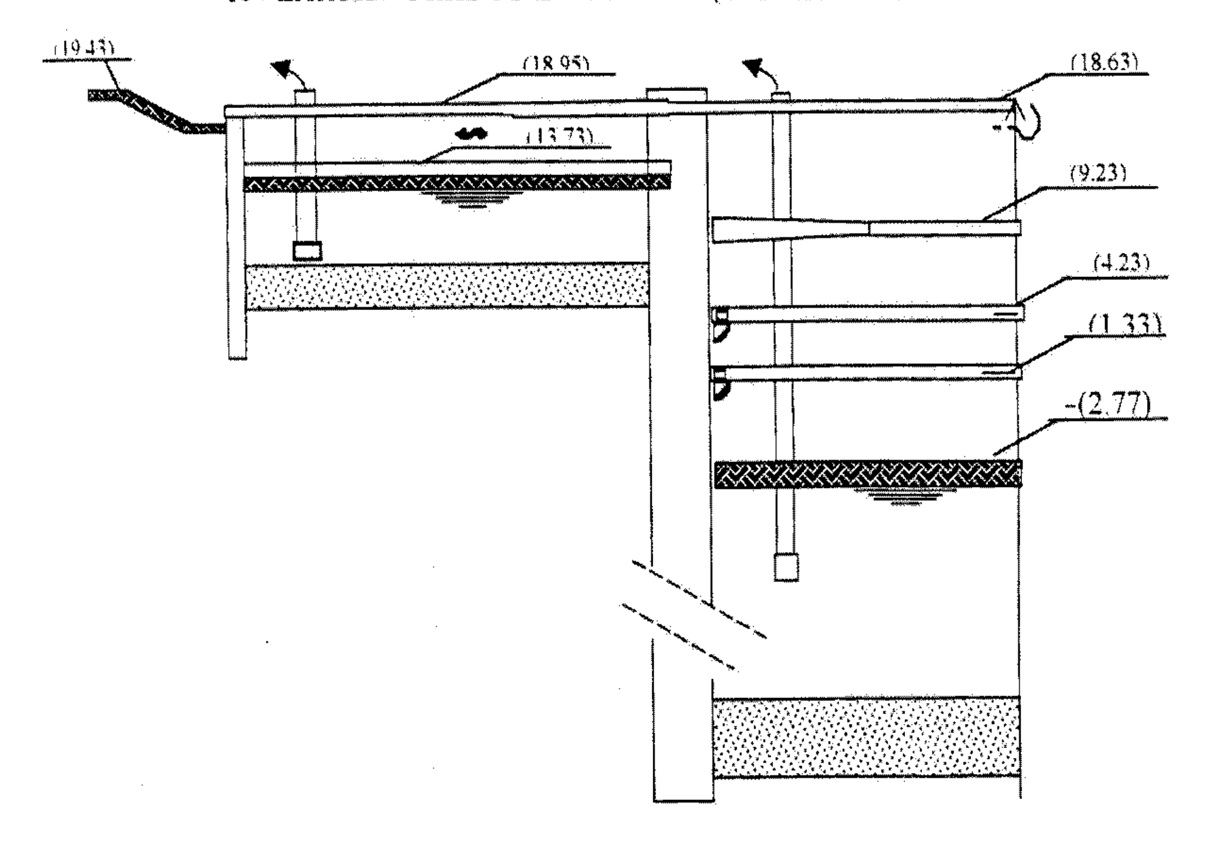
٢ – تنفيذ صب بلاطة السقف في منطقة قطع التذاكر .



المرحلة العاشرة :

١ – أستكمال أعمال الحفر للوصول الي حصيرة الأرضية

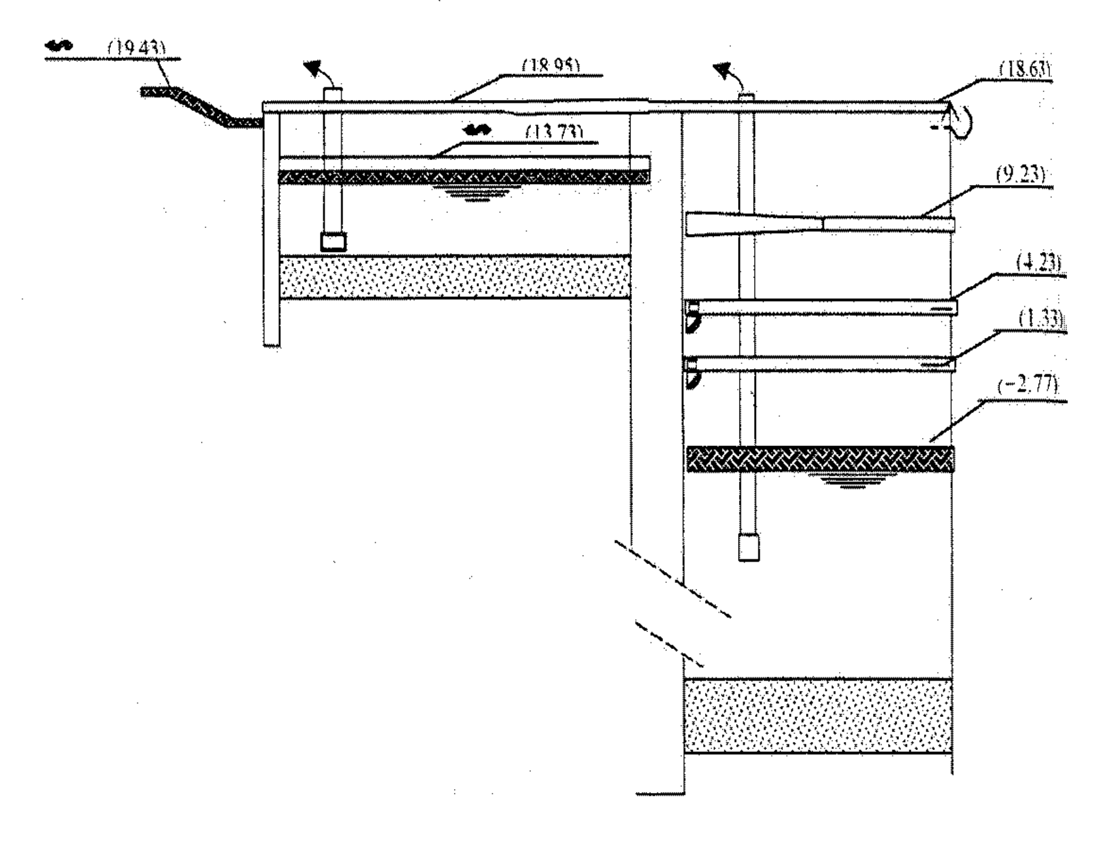
10 - EARTHWORKS TO LEVEL – 2.77 (ON A X E 11)



المرحلة الحادية عشر :

١ – تنفيذ أعمال العزل للمحطة .

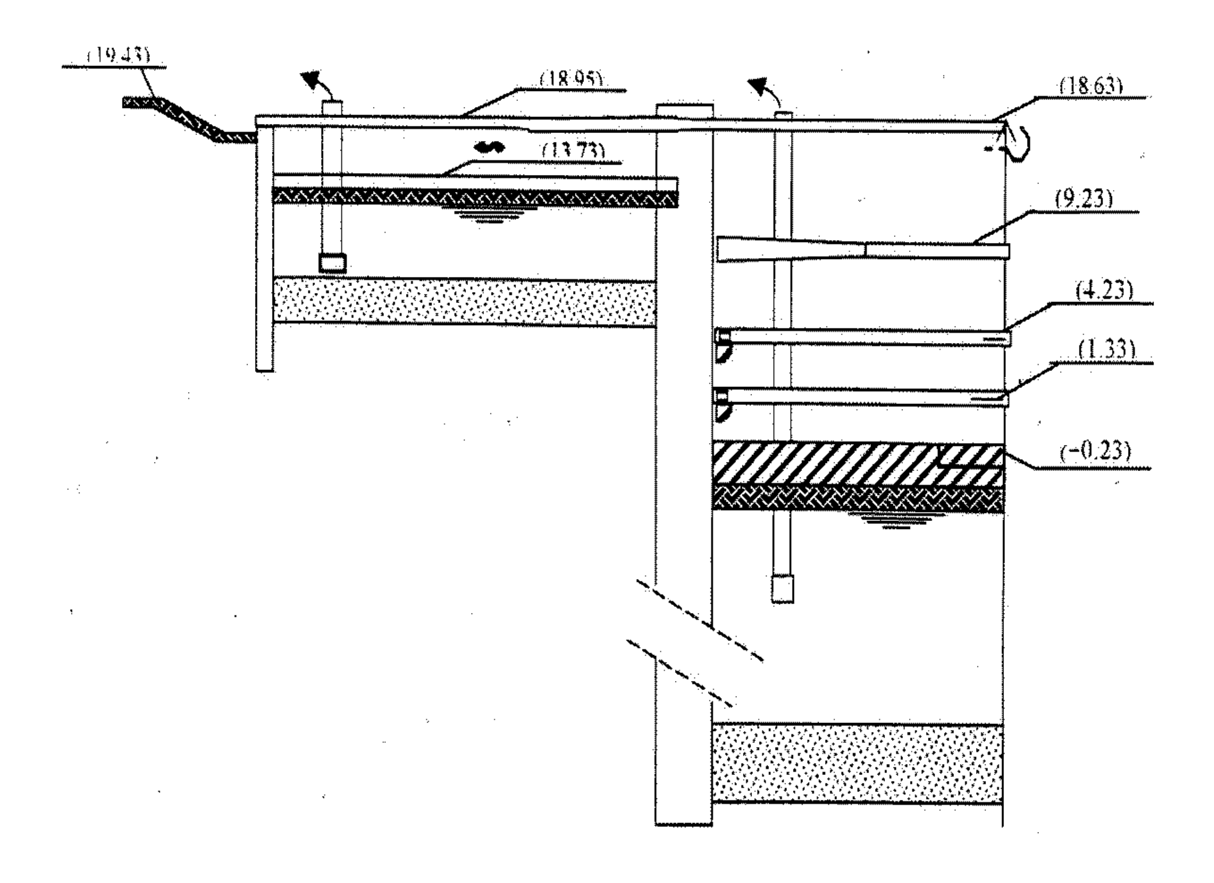
11 - INSTALLATION OF THE WATERPROOFING COMPLEX (IN STATION1)



المرحلة الثانية عشر :

١ – صب خرسانة الأرضية في المحطة .

12 - RAFT CONCRETING (IN STATION1)

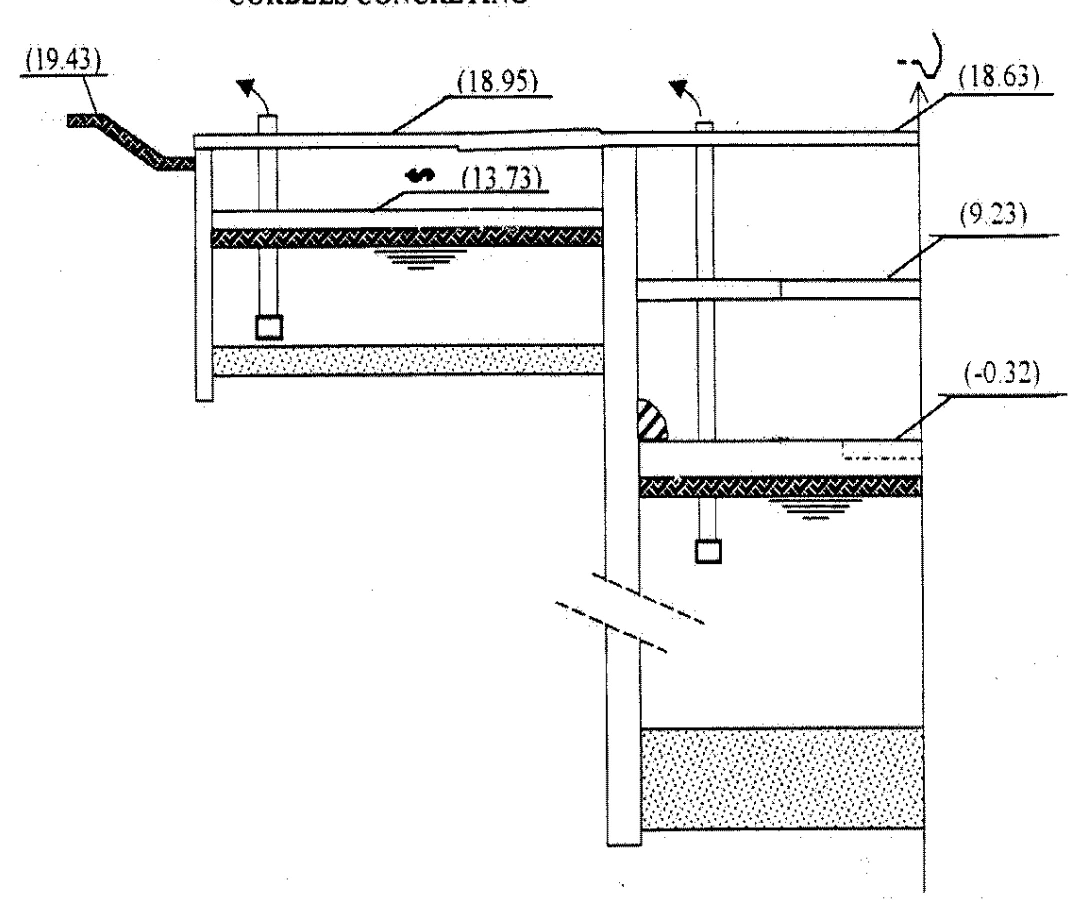


المرحلة الثالثة عشر :

١ – أزالة السنادات .

٢ – صب خرسانات (corbels) بجوار الحوائط الرئيسية للمساعدة في مقاومة الرشح .

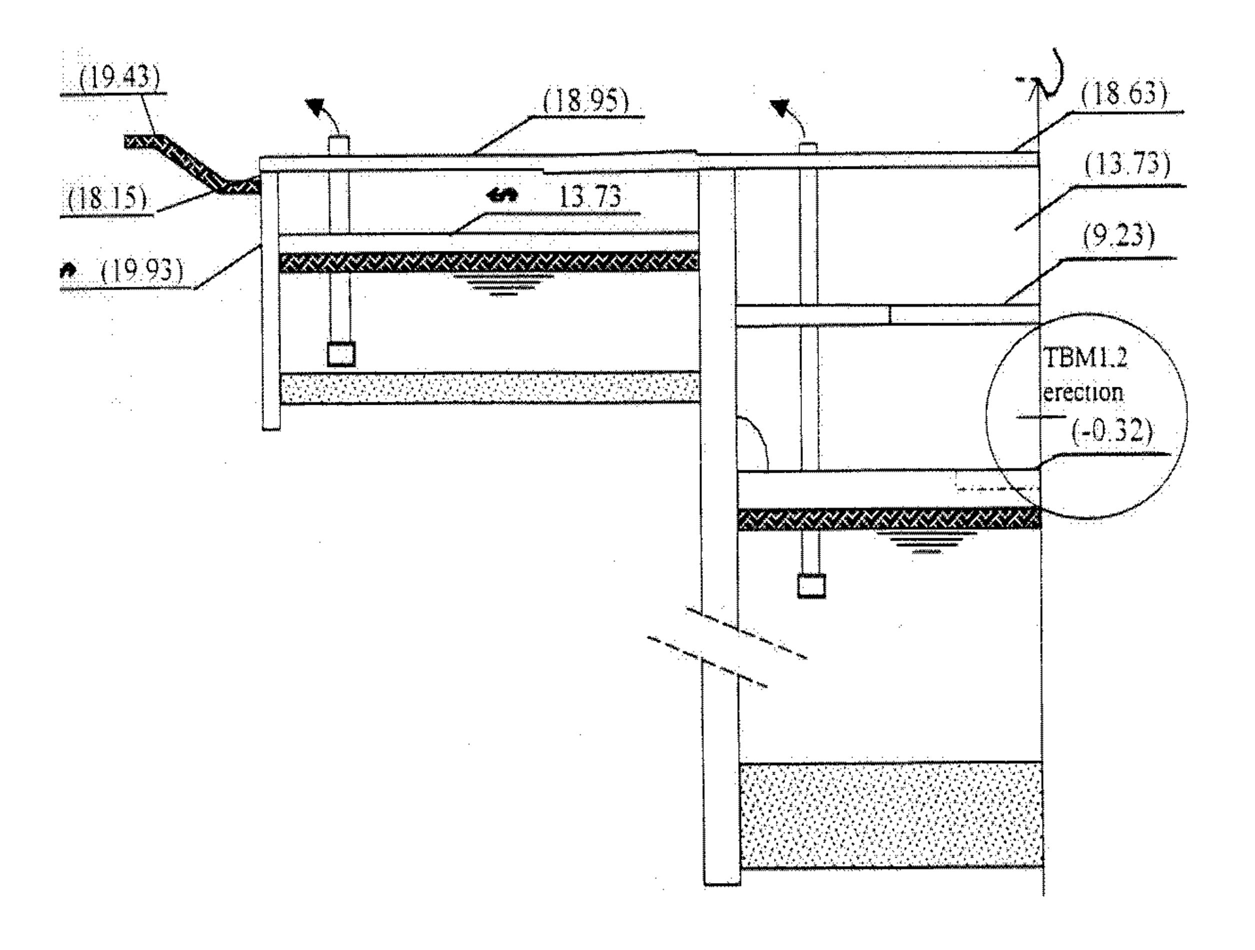
13 - STRUTS REMOVAL (STRUT AT LEVEL 4.23 IN FIRST)
- CORBELS CONCRETING



المرحلة الرابعة عشر :

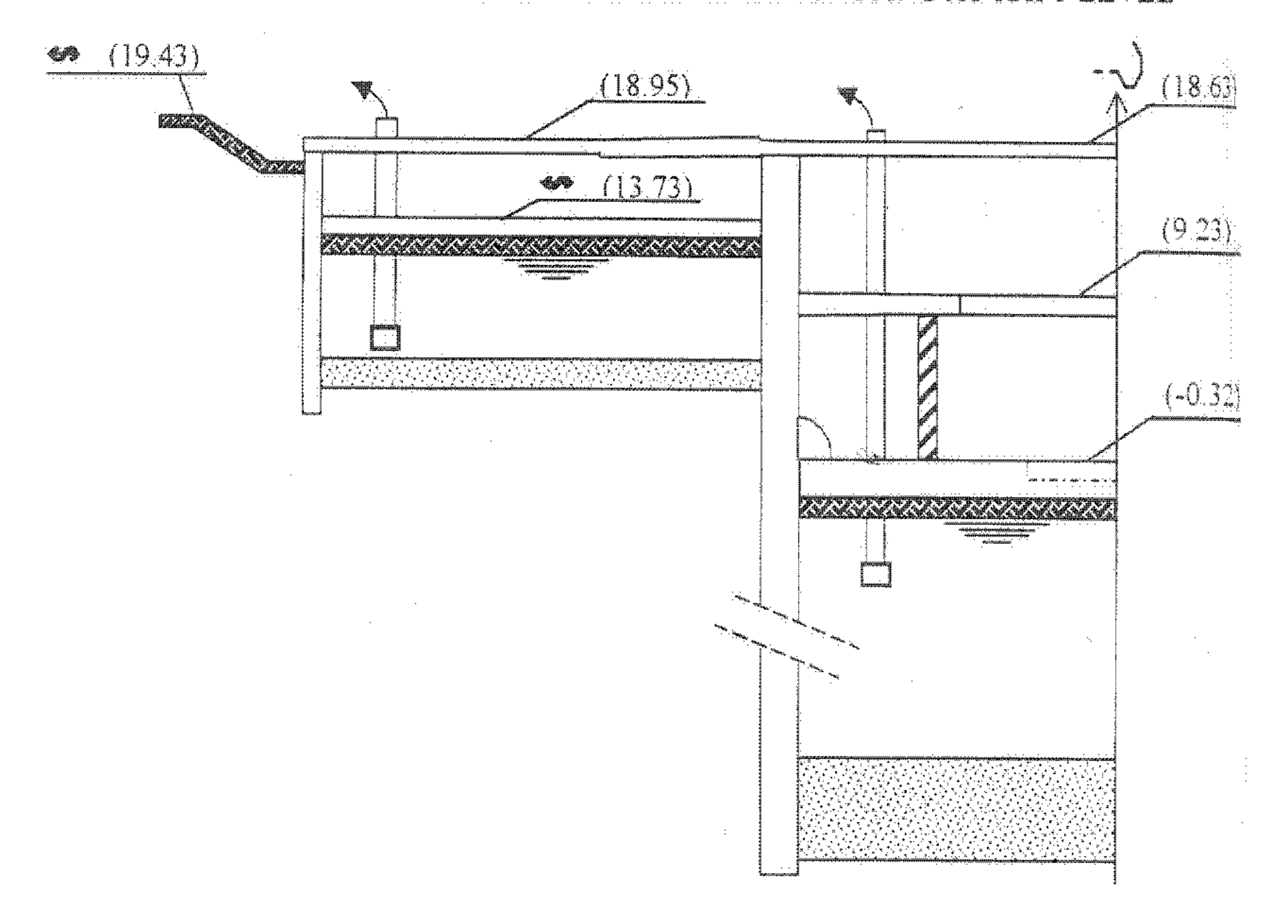
١ – تركيب حفارة الأنفاق .

14 - TBM ١, 2 ERECTION



المرحلة الخامسة عشر :

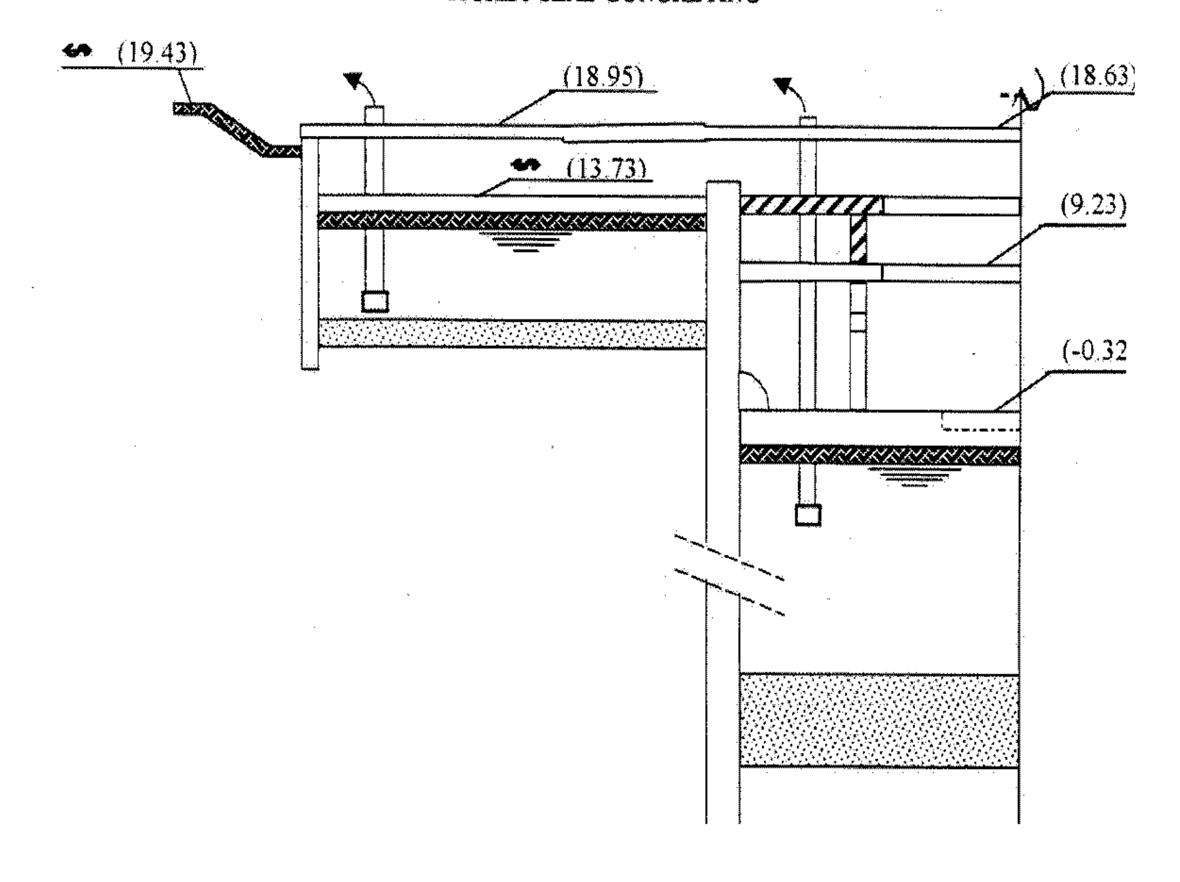
١ – صب أعمدة وكمرات عند منسوب حصيرة الأرضية .



المرحلة السادسة عشر :

١ – صب الأعمدة لملحق قطع التذاكر .

16 - COLUMNS AT TECHNICAL LEVEL CONCRETING
- TICKET SLAB CONCRETING



المرحلة السابعة عشر :

١ – إيقاف ضخ المياه الجوفية في الجزء الرئيسي .

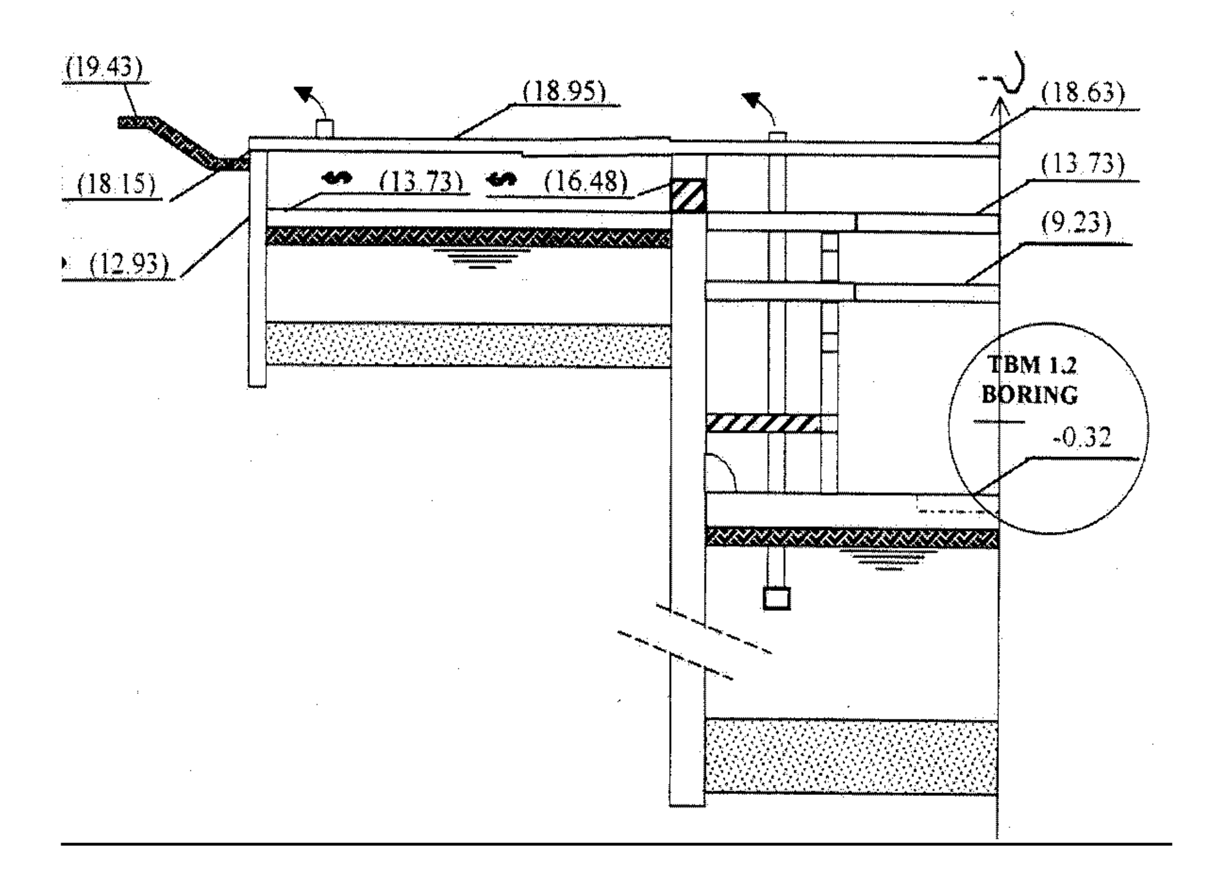
٢ – أنشاء الأرصفة .

٣ – أزالة الخرسانة من فتحة بين الجزء الرئيسي والمحطة .

7 – STOP PUMPING IN THE ACCESS

- PLATFORM CONCREETING (between axis A-B & D-F)

- DEMOLITION OF THE CONCRETED PART (opening between access & station)



المرحلة الثامنة عشر :

بعد أنتهاء عمل الحفارة ثم تفكيكها :

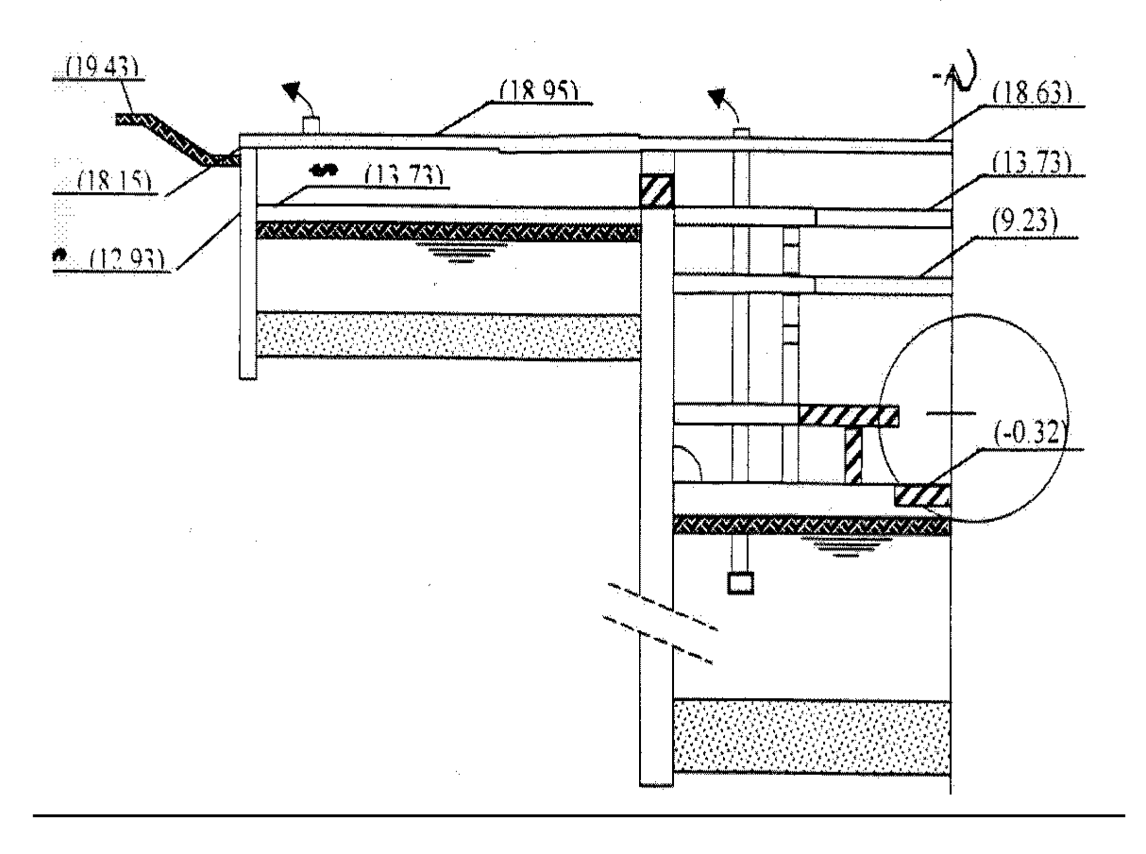
١ – أستكمال ما تبقي من خرسانات الأرضية .

٢ – تشطيب أرصفة المحطة .

٣ – تنفيذ أعمدة بين المحطة والجزء الرئيسي .

18 – AFTER THE TBM 1&2 BORING AND DISASSEMBLING

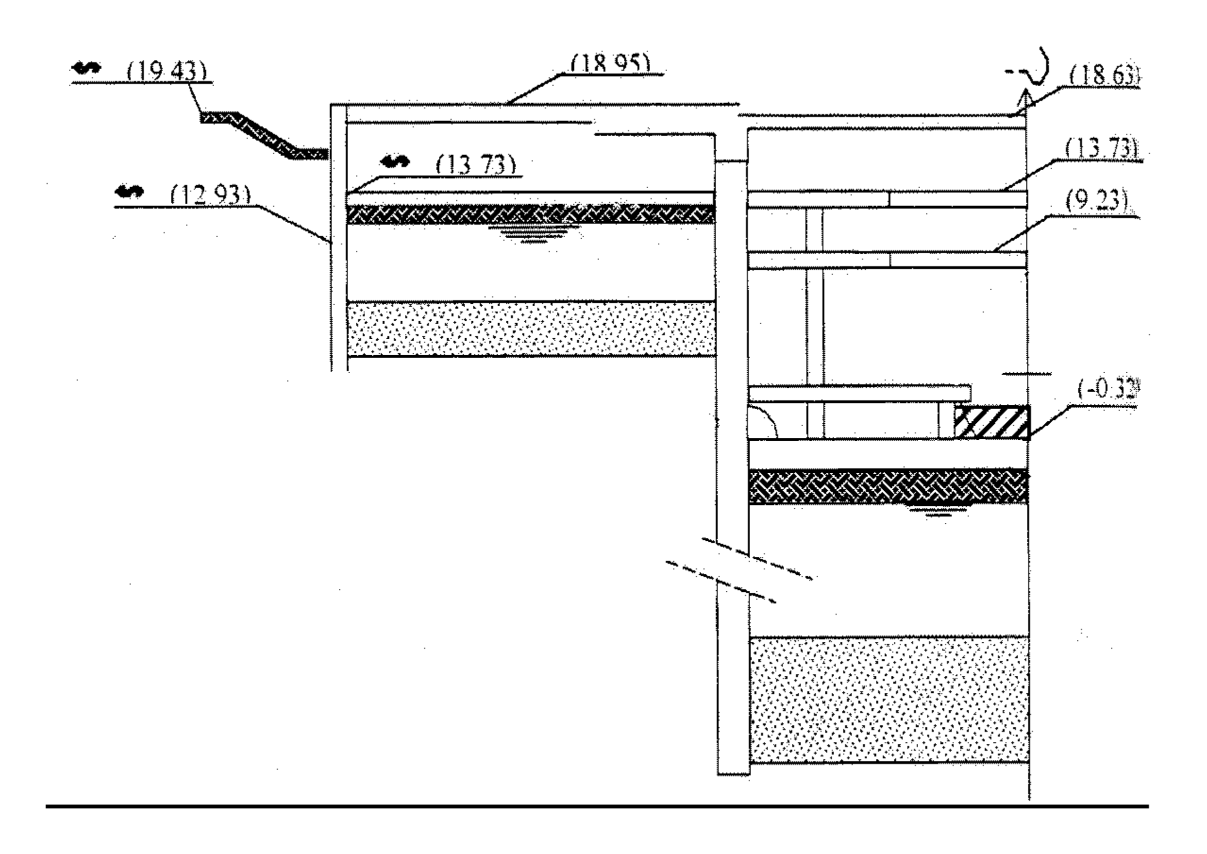
- FILING THE RAFT
- PLATFORM FINISHING
- EXECUTION OF COLUMN ON AXE 11 (between access & station)



المرحلة التاسعة عشر :

١ – أستكمال صب حصيرة الأرضية .

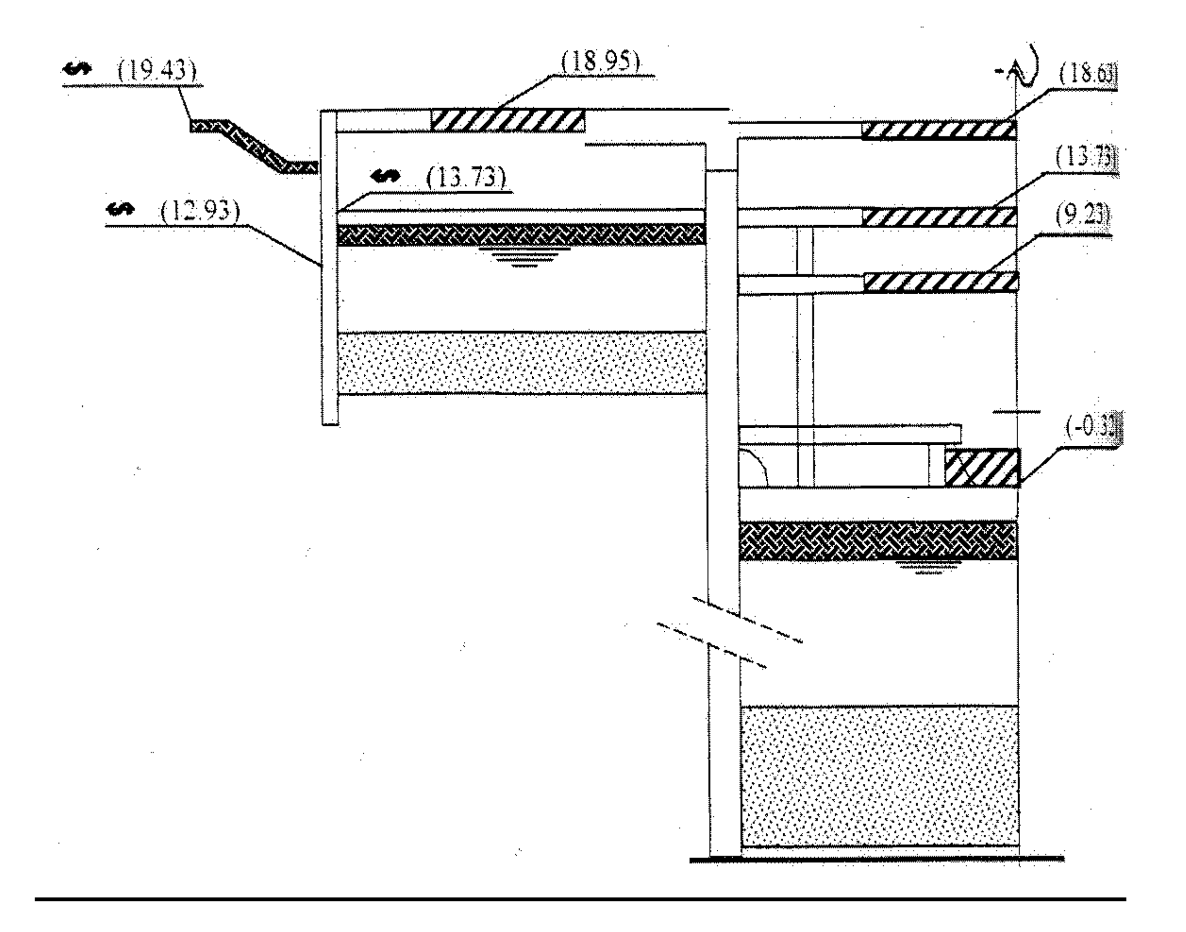
٢ – توقف ضخ المياه الجوفية .

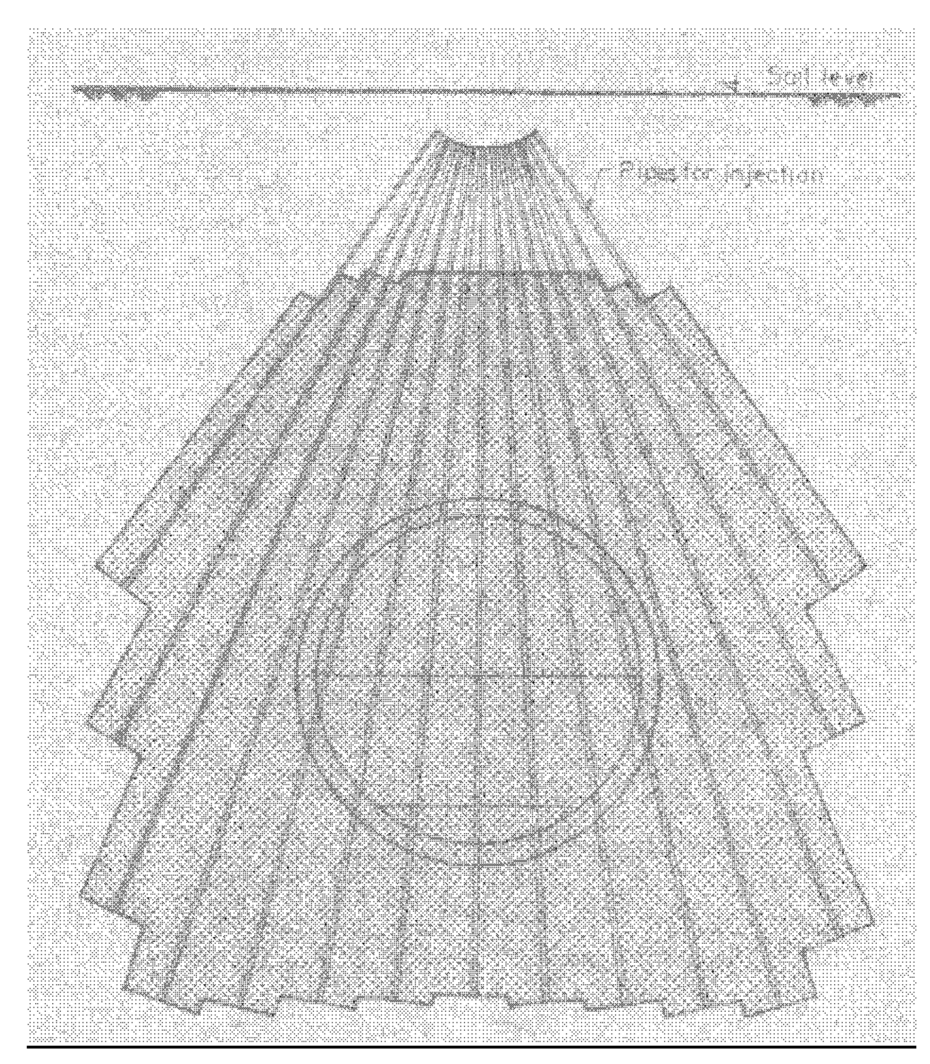


المرحلة العشرون :

١ – صب الفتحة المؤقتة بالخرسانة في المحطة .

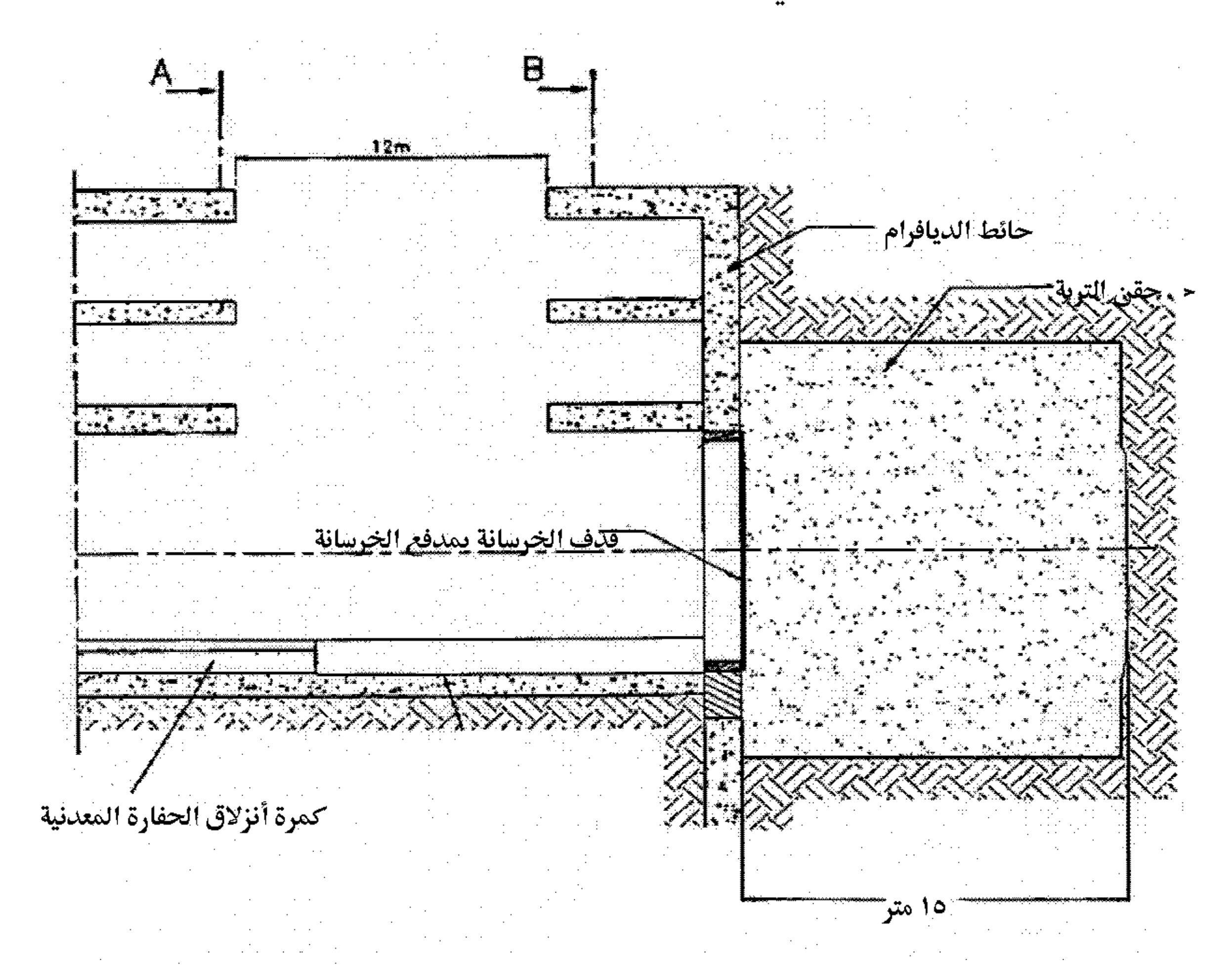
٢ – صب الفتحة المؤقتة بالخرسانة في المنطقة الرئيسية .





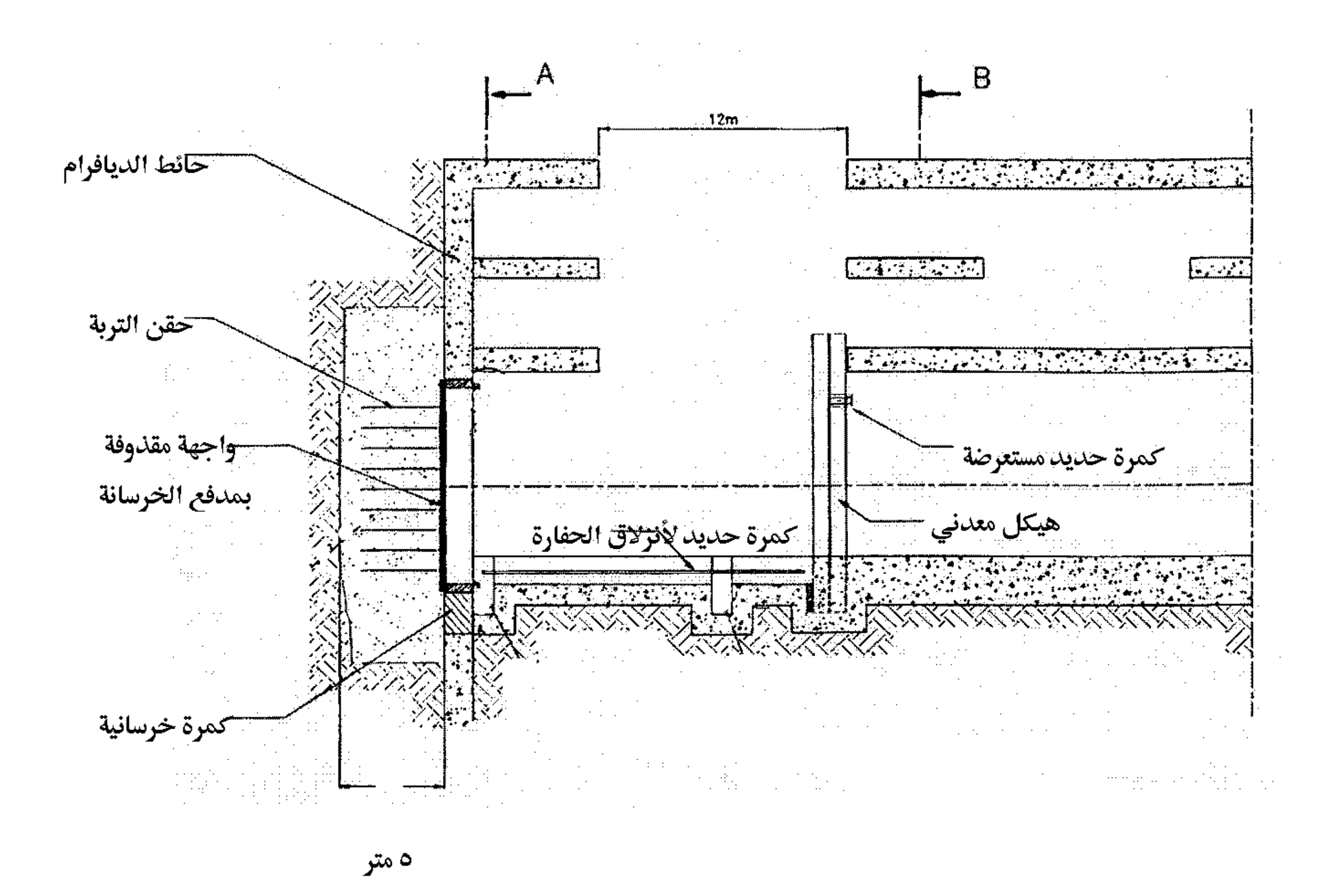
حقن النفق عند مدخل ومخرج النفق من و الي المحطة

قطاعات عرضية في المحطات توضح التفاصيل لتنفيذ الأعمال



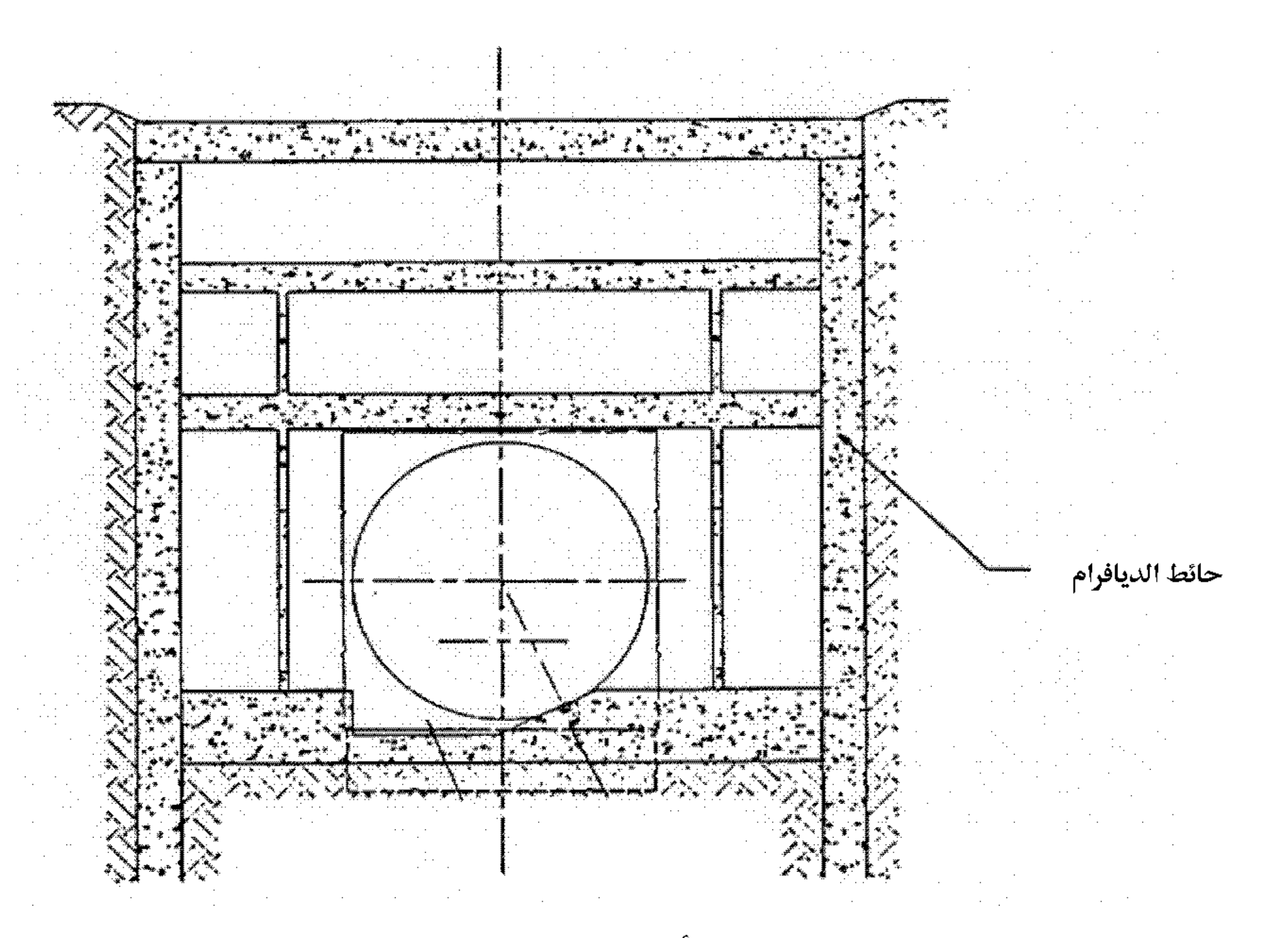
دخول الحفارة الي المحطة

عند دخول الحفارة الي المحطة – يتم حقن منطقة الدخول بسمك ١٥ متر – ويدعم بخرسانة عند أبتداء حائط المحطة وفتحة دخول الحفارة باستعمال مدفع الخرسانة .



خروج لحفارة من المحطة في أتجاه النفق

عند الخروج ، تحقن المنطقة الأمامية بالحقن لمسافة ٥ أمتلر مع تدعيم منطقة الخروج مع الحائط بالخرسانة بواسطة مدفع الخرسانة . يوضع أيضا عازلا عند المخرج مباشرة من المطاط علي محيط الفتحة لمنع تسرب أي مياه رشح .يوضح الشكل ، الحفارة في مكانها المحدد وكذلك المحطة – لاحظ الفتحات (١٢ متر × ١٢ متر) بالأسقف للتمكين من نزول أجزاء الحفارة – هذه الفتحات يعاد صبها بعد أتمام العمل



المحطة بعد أنتهاء صب الخرسانات

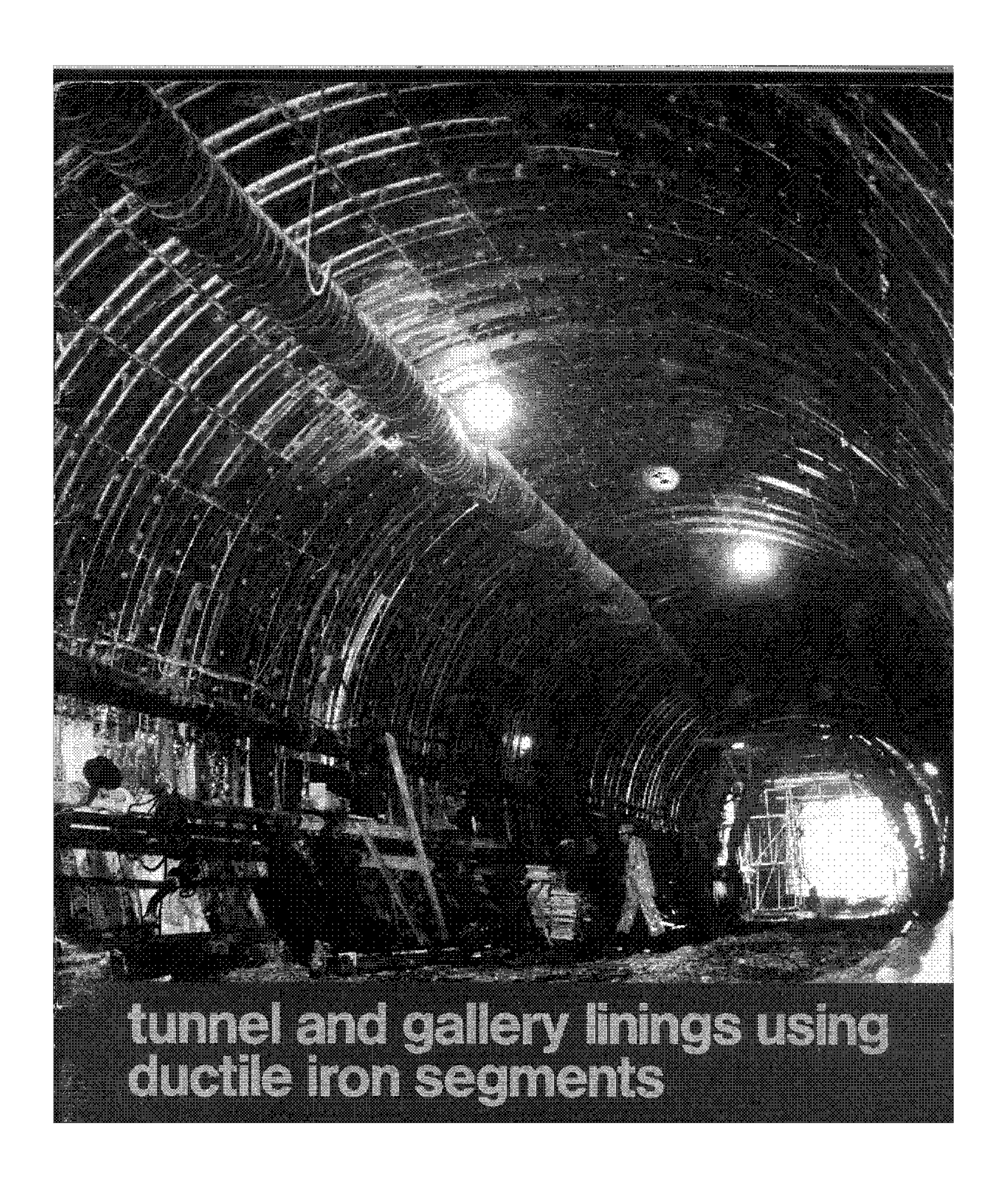
نماذج من أنفاق مجزأة



LIVERPOOL LINK

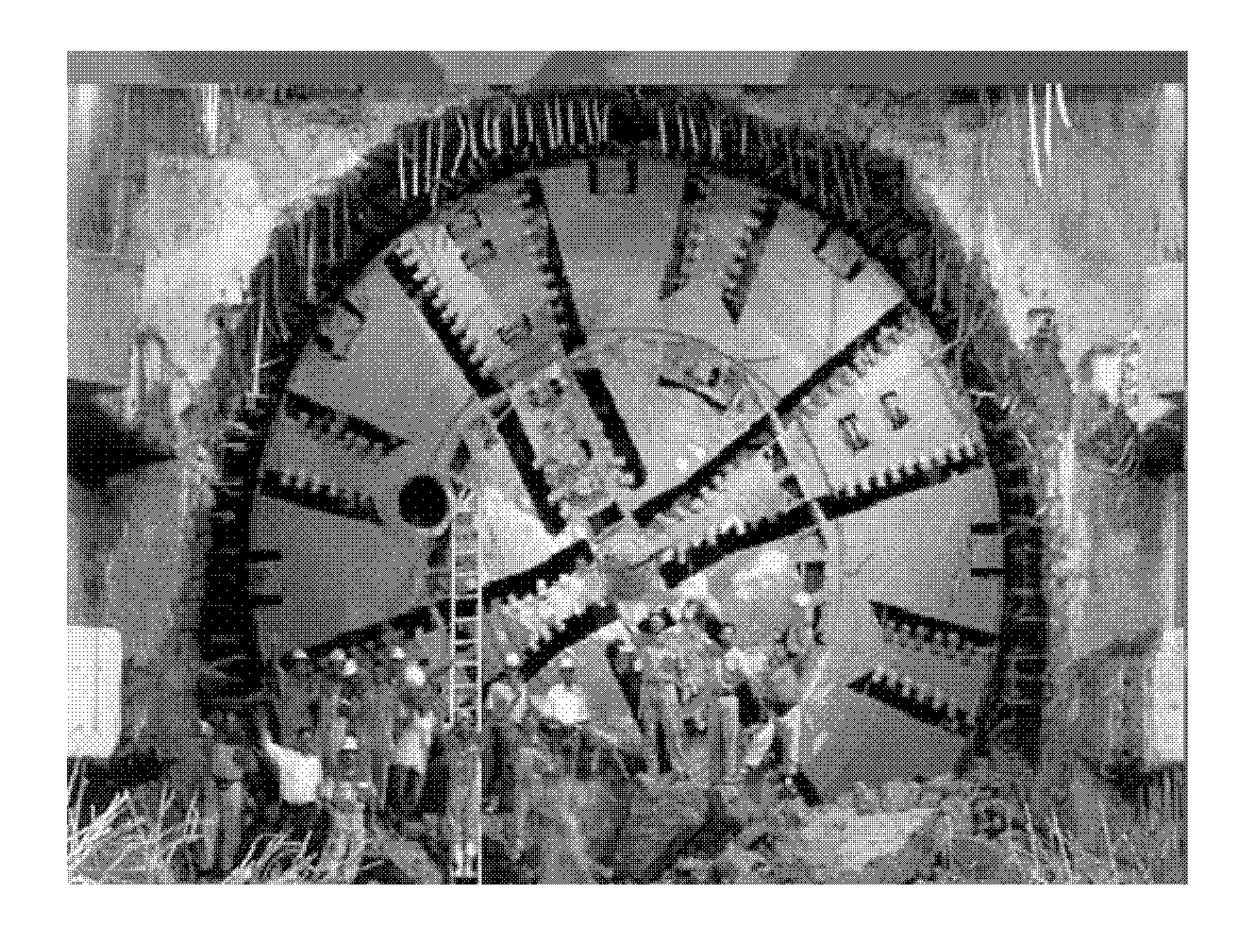


CARSINGTON RESERVOIR TUNNEL

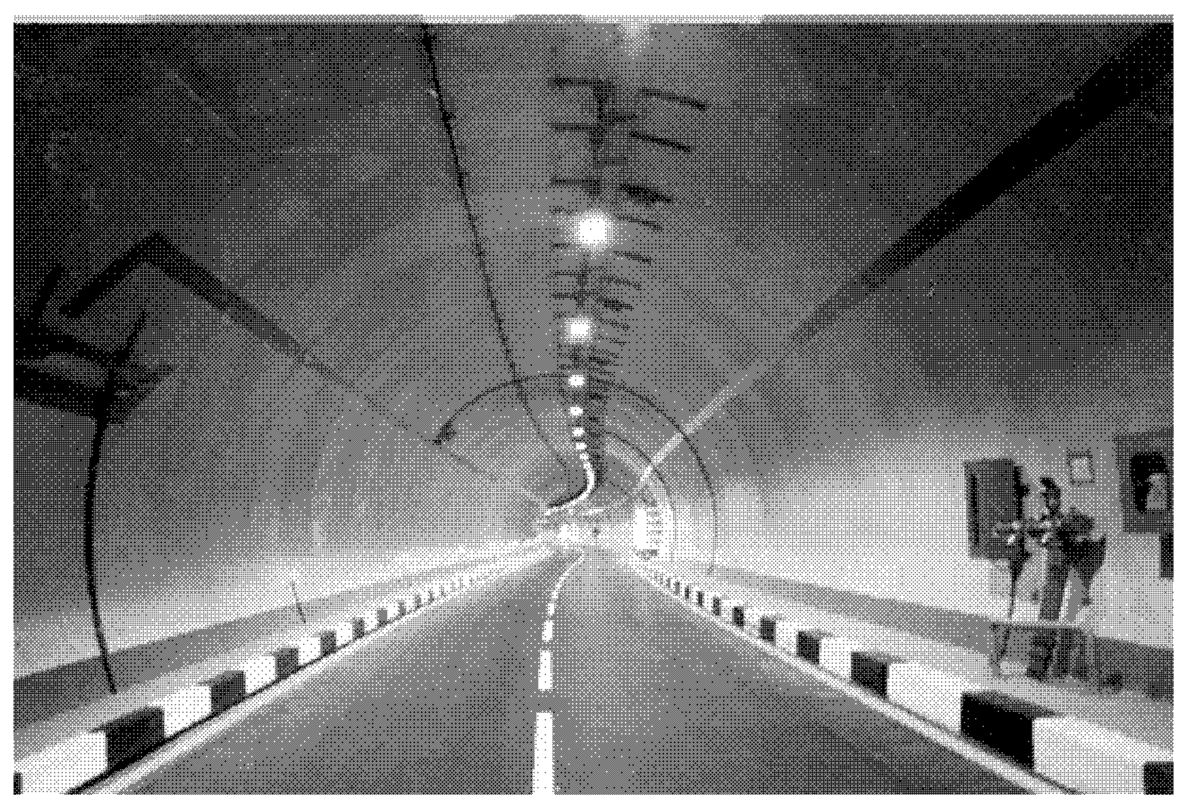

tunnel and gallery linings using
ductile iron segments

حفارة نفق مترو القاهرة الكبري

CREATER CAIRO SUBWAY (LINES 1 & 2) - CAIRO



Al-Azhar Road Tunnels - Cairo



نفق الأزهر – القاهرة الكبري

الباب التاسع

الأنفاق في الصخور
ROCK TUNNELS

الأنفاق في الصخور
Rock Tunnels

السلوك الميكانيكي للصخور :

تنقسم الصخور من حيث سلوكها الميكانيكي الي نوعين رئيسين :

١ - صخور قوية : و هي التي يمكن أنشاء النفق بها دون حاجة الي عمل صلبات أو دعامات لحمايتها من الأنهيار .

٢ - صخور ضعيفة : وهي التي لا يمكن أنشاء النفق بها دون أقامة دعائم قوية تحميها .

و نتيجة لوجود فتحة النفق داخل القطاع الصخري- فأنه يحدث تركيز للأجهادات حول هذه الفتحة - فأذا زادت هذه الأجهادات عن قوه الصخور للشد أو الضغط أو القص فأنه يحدث كسر في هذه الطبقة و تحدث حاله أنهيار و تساقط الصخور في هذه المنطقة مسببة أحمالا أضافية علي الدعائم و العكس صحيح ، فأنه أذا كانت الأجهادات حول فتحة النفق أقل من تحمل الصخور للشد أو الضغط أو القص - فأنه لا حاجة الي دعائم لصلب هذه الصخور .

طريقة التنفيذ للأنفاق الصخرية :

تنفذ الأنفاق في الصخور بطريقتين :

١ - طريقة التخريم و النسف .

٢ - أستخدام الحفارة الميكانيكية و الدرع .

أولا : طريقة التخريم و النسف :

تتبع الخطوات الآتية :

أ - توقيع أماكن التخريم و أستخدام معدات التخريم في عمل الثقوب المطلوبة .

ب - وضع المفرقعات بالكمية المناسبة و أنهاء عملية النسف .

ج - عمل التهوية و أزالة الغبار الناتج من عملية النسف .

د - تحميل و نقل ناتج النسف خارج النفق .

و - التخلص من المياه الأرضية أن وجدت .

س - وضع الدعائم للسقف و الجوانب .

ص - وضع حديد التسليح و صب خرسانة التبطين .

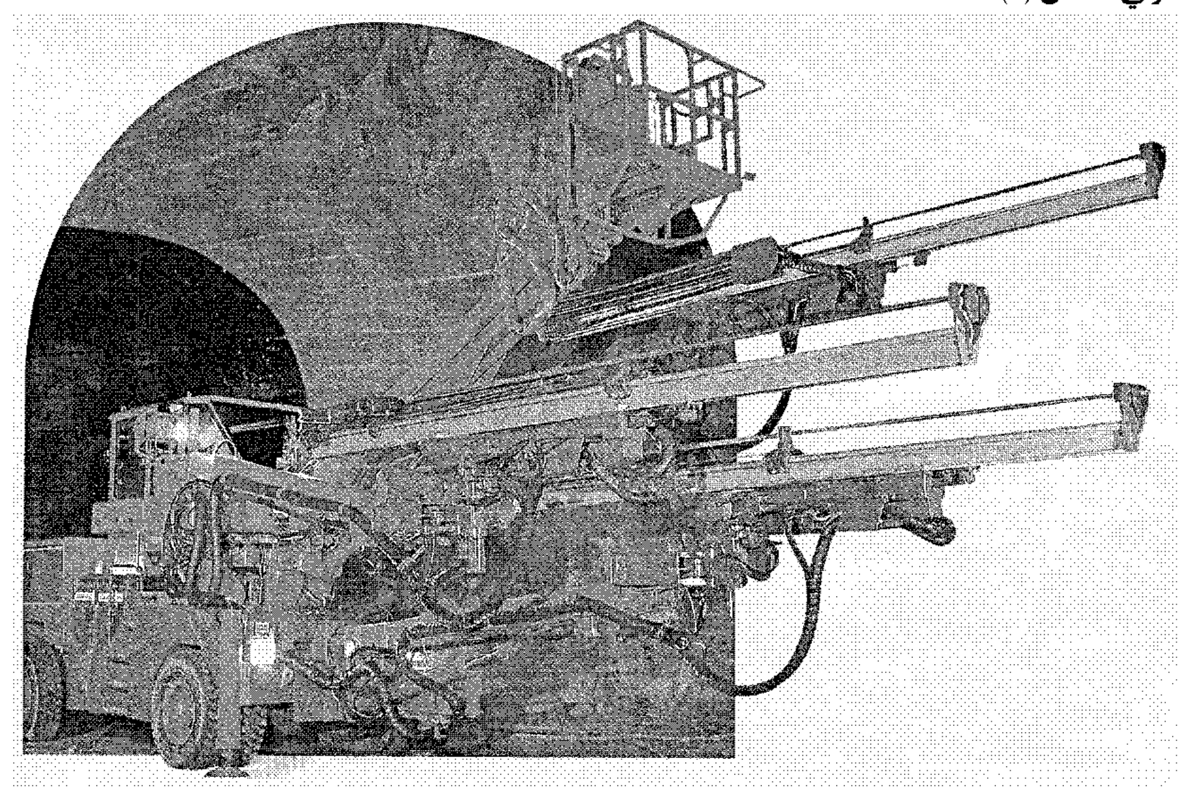
أ – توقيع أماكن التخريم :

يتوقف عدد الثقوب علي قطر النفق – فأذا كان قطر النفق ١٢ – ١٤ قدم فيتم عمل ثقب كل ٥ قدم مربع .
أما أذا كان قطر النفق أقل من ذلك – فيتم عمل ثقب كل ٢,٥ قدم مربع .
أما أذا كان القطر أكبر من ذلك فيعمل ثقب كل ٦ – ٧ قدم مربع . و يحدد نوع الصخور أيضا عدد هذه الثقوب – فالصخور النارية تحتاج الي ضعف عدد الثقوب للصخور الرسوبية . تستخدم شواكيش تخريم قطرها ٢"– ٥" و يكون الثقب متعامد مع سطح النفق .
و في حالة وجود تشققات طبيعية في الصخور فأنه يجب أن يكون الثقب متعامدا علي مستويات هذه التشققات .

تستعمل الأنواع الآتية من معدات التخريم لعمل الثقوب :

١ – شاكوش التخريم الدقاق Percussion Drill :

و تستخدم بنط شديدة الصلابة مصنوعة من التنجستن كاربيد و تستهلك هذه البنط كل ٤٠٠ – ٨٠٠ قدم طولي– شكل (١) .



شكل (١)

آلة ثقب الصخور

٢ – شاكوش التخريم الدوار Rotary Drill :

و هو مناسب لعمل الثقوب في طبقات الصخر الأقل صلابة .

٣ – شاكوش التخريم الحلزوني الدوار Auger Drill :

و هو مناسب للصخور الضعيفة جدا – و هذا النوع يعتمد في تشغيله علي ضغط الهواء .

ملاحظة :

بالنسبه للأنفاق ذات الأقطار الكبيرة – تستخدم آلات تخريم حديثة تشمل عدة أذرع للتشقيب . و تعتمد في تشغيلها علي نظام هيدروليكي خاص و تعمل في وقت واحد و يطلق عليها أسم جامبو **Jumbo** . و هو عبارة عن ماكينة تتحرك علي عجل كاوتش أو مجنزرة للسير عليها – كل ذراع من الأذرع السابقة عباره عن شاكوش تخريم و ذلك لأنجاز عمل عده ثقوب في و قت واحد – شكل (١) .

توزيع الثقوب بقطاع النفق :

تنقسم الثقوب الي ثلاثة مجموعات رئيسية :

١ – ثقوب الوسط .

٢ – ثقوب النسف .

٣ – ثقوب تحديد قطاع النفق .

تبدأ عملية النسف بنسف المجموعه الأولي و هي تعتبر و سيلة لتفريغ الصخور من وسط قطاع النفق – و هذا التفريغ من المنتصف يزيد من كفاءه ثقوب تحديد القطاع و التي تحدد القطاع النهائي للنفق . و عاده تكون عملية النسف للمجموعات الثلاث المذكوره متتالية و بفاصل زمني بسيط جدا و لا يتجاوز جزء من الثانية . و يمكن الوصول الي هذا العمل باستخدام أجهزة النسف الكهربائية الدقيقة و التي تمكننا من أستغلال طاقة النسف كلها – فبعد تفجير المجموعه الأولي تتحرك موجة النسف بسرعة كبيرة في جميع الأتجاهات و هذه الموجه عند بلوغ أقصاها في داخل منطقه صخور المجموعة الثانية لا تكون وحدها كافية لتفتيت منطقة صخورالمجموعة الثانية ، ألا أنها تعتبر عاملا مساعدا لثقوب المجموعه الثانية و التي تكون قد بدأت في الأنفجار و تتفتت صخور المجموعة الثانية ثم تبدأ المجموعة الثالثة في الأنفجار في نفس اللحظة التي تبلغ قوي التضاغط الناتجة عن تأثير نسف المجموعتين السابقتين أقصاها.

<u>ب – وضع المفرقعات بالكمية المناسبة و أنهاء عملية النسف .</u>

<u>تختلف كمية النواسف اللازمة للمتر المكعب علي العوامل الآتية :</u>

١ – مساحه المقطع .

٢ – قوه تماسك الصخور .

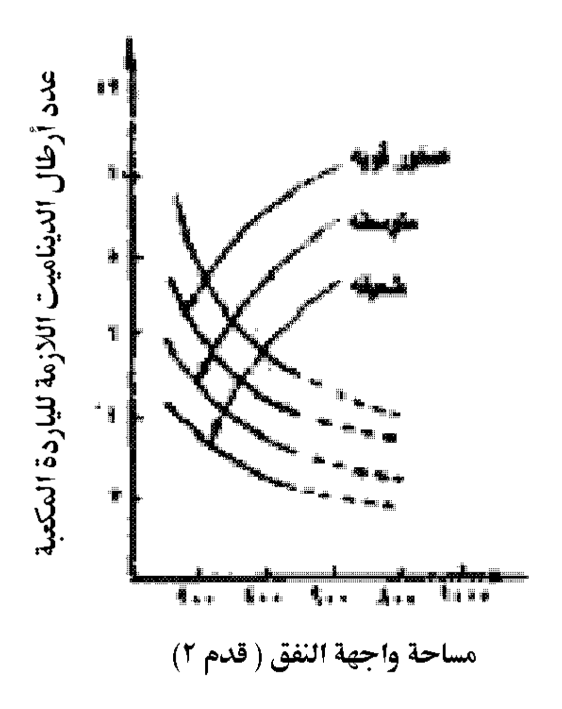
٣ – نوع المفرقعات .

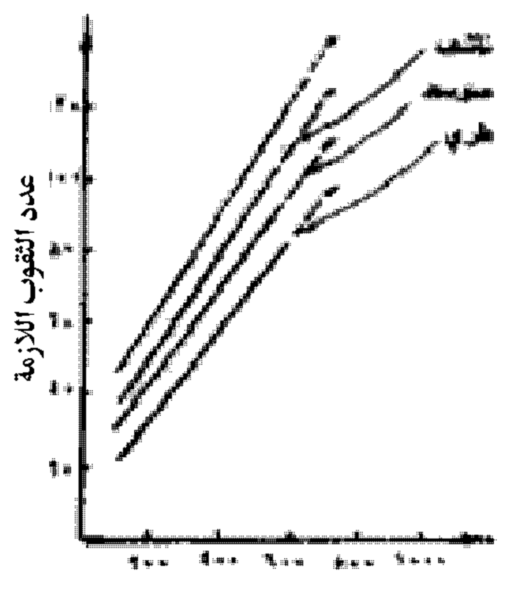
<u>مثال :</u>

واجهه نفق مساحتها ١٠٠ قدم مربع في صخور جرانيتية صلبة يلزمها ١٠ أرطال ديناميت للياردة المكعبة – بينما واجهه أخري مساحتها ٨٠٠ قدم مربع في طبقة صخور رسوبية يلزمها أقل من رطل واحد للياردة المكعبة .

و المنحنيات التالية – شكل (٢) تبين النسب التقريبية لمعدل أستهلاك الديناميت البودرة للياردة المكعبة لمساحات متعددة لواجهة الأنفاق مع صخور مختلفة الصلابة .

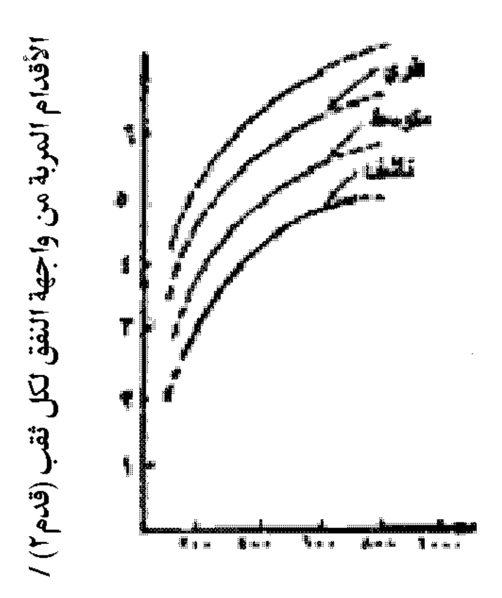
يعبأ كل ثقب بالمقدار المحدد من الشحنه الناسفة و تشعل الشحنة بواسطة الكبسول الكهربائي مع أستخدام كبسول موقوت بفترات منتظمة . توصل الكبسولات الكهربائية علي التوازي و توصل بكابل متصل بجهاز التفجير الكهربائي . يجري النسف من بعد لا يقل عن ١٠٠٠ قدم من الواجهة مع استخدام كافة متطلبات الأمان اللازمة و الكافية .





عدد الثقوب المطلوبة / قدم مربع من

مساحة الواجهة



مساحة واجهة النفق (قدم ٢)

ما يتطلبه الثقب الواحد من الأقدام

المربعة

شكل (٢)

النسب التقريبية لمعدل أستهلاك الديناميت البودرة للياردة المكعبة لمساحات متعددة لواجهة الأنفاق مع صخور مختلفة الصلابة

<u>ج - التهوية و أزالة الغبار الناتج عن عملية النسف :</u>

و هي أحدي العمليات الضرورية للعمل ، حيث ينتج دخان و غاز كثيف ناتج عن عملية النسف لا بد من التخلص منه حفاظا علي صحة العاملين . ويتم عمل نظم التهوية بالطرق الآتية :

<u>١ - دفع الهواء البارد :</u>

و يتم ذلك بتركيب مروحة ذات قدرة متوسطة تتوقف علي طول و قطاع النفق . تركب المروحة عند مدخل النفق و تدفع الهواء خلال أنبوب معلق في سقف النفق حتي آخر النفق حيث يوجد العمال . تصنع أنابيب الهواء من المطاط الصناعي الغير قابل للأحتراق و بقطر ٦٠٠ - ١٠٠٠ مم ، و يراعي أستخدام ماسورة متحركة عند واجهة النفق يتم فكها عند أجراء عملية النسف و يعاد تركيبها بعد نهو النسف .

<u>٢ - سحب الدخان و الغبار :</u>

يتم تركيب مروحه سحب (شفاط) أمام واجهه النفق - تقوم بشفط الدخان و الغبار خلال مواسير الي خارج النفق .

<u>٣ – دفع الهواء و سحب الدخان :</u>

و يكون ذلك باستخدام نوع خاص من المراوح يمكنها من دفع الهواء أو تحويلها الي نظام سحب الدخان – ويمكن التحول بين النظامين بسرعة . هذا النظام يفضل أستخدامه في الأنفاق التي يجري بها أعمال النسف . ينبغي رش جدران النفق بالمياه أثناء التنفيذ للأقلال من كمية الأتربة المنتشرة .

<u>تحسب الكمية اللازمة من الهواء كالآتي :</u>

١٠٠ قدم مكعب / دقيقة / عامل .

٥٠ قدم مكعب / دقيقة / قدم مربع من قطاع النفق . و نختار أيهما أكبر .

و أذا أستخدمت سيارات تعمل بالديزل في نقل نواتج التفجير – فأنه يلزم ٧٥ قدم مكعب (أضافي) من الهواء في الدقيقة الواحدة لكل حصان من قدرةالمعدة .

من العوامل السابقه يمكن حساب قدرة مراوح الشفط أو ضخ الهواء و المواسير و خلافه .

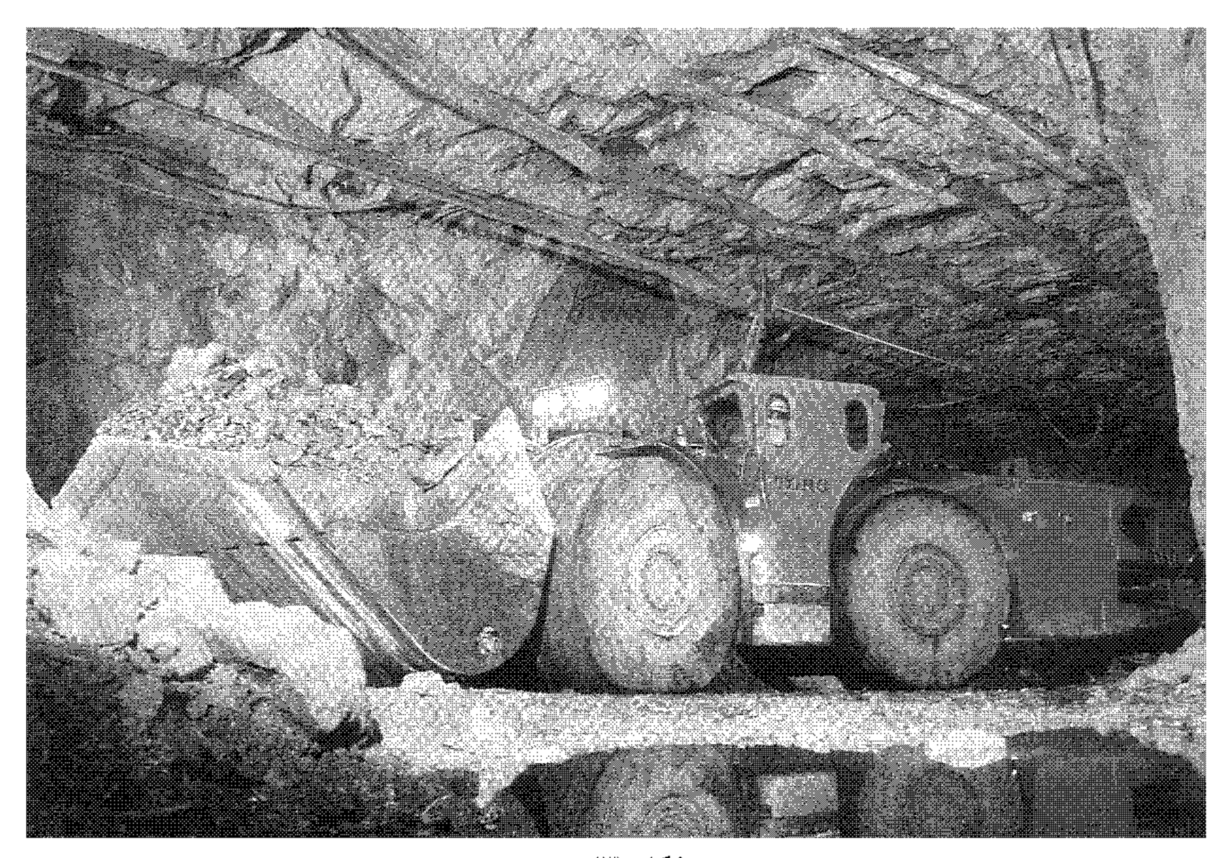
<u>د – تحميل و نقل ناتج النسف خارج النفق .</u>

١ – أستخدام الحفارات أو اللوادر في تحميل هذه النواتج علي سيارات قلاب أو عربات ديكوفيل تجرها قاطرة أو الدنابر – شكل (٣) .

٢ – السيور الناقلة : توضع نواتج التفجير علي السيور التي تنقلها الي خارج النفق و تحميلها علي السيارات القلاب.

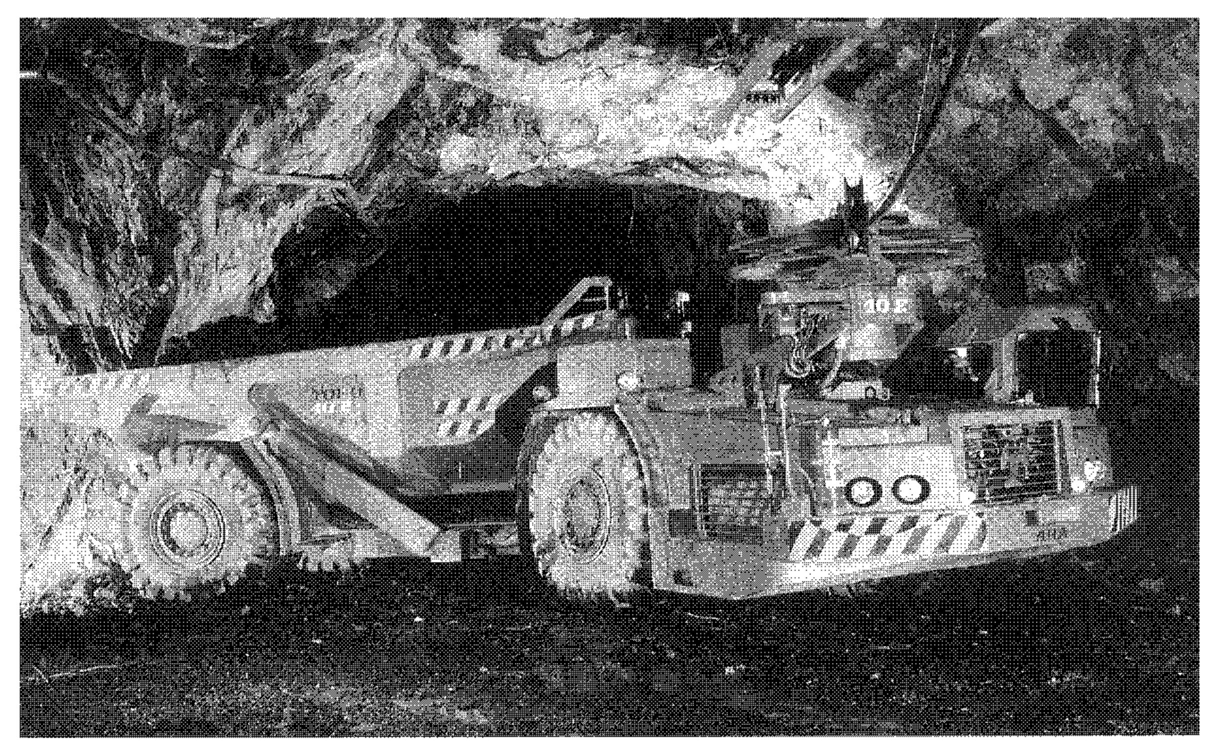
٣ – عربات الديكوفيل التي تسير علي القضبان .

٤ – دنابر نقل الصخور الي خارج النفق – شكل (٤) .



شكل (٣)

تحميل نواتج التفجير بالنفق باللودر - تصنع خصيصا لتناسب تنفيذ الأنفاق



شكل (٤)

دنابر تحميل الصخور من داخل النفق - تصنع خصيصا لتناسب تنفيذ الأنفاق

و – التخلص من المياه الأرضية :

تتكون المياه الأرضية من رشح المياه داخل النفق أو من رش جدران النفق لتقليل الغبار . و عموما – فأن أستخدام أي طريقة للتخلص من هذه المياه يتوقف علي كمية هذه المياه . هناك حالتان :

١ – حالة مؤقتة أثناء الأنشاء و تستخدم طريقة النزح السطحي – الهواء المضغوط – تثليج التربة – الحقن .

٢ – وحالة مقاومة المياه بصفة دائمة بعد الأنشاء مثل التبطين من الداخل والحقن .

أولا : مقاومة المياه بصفة مؤقتة قبل الأنشاء :

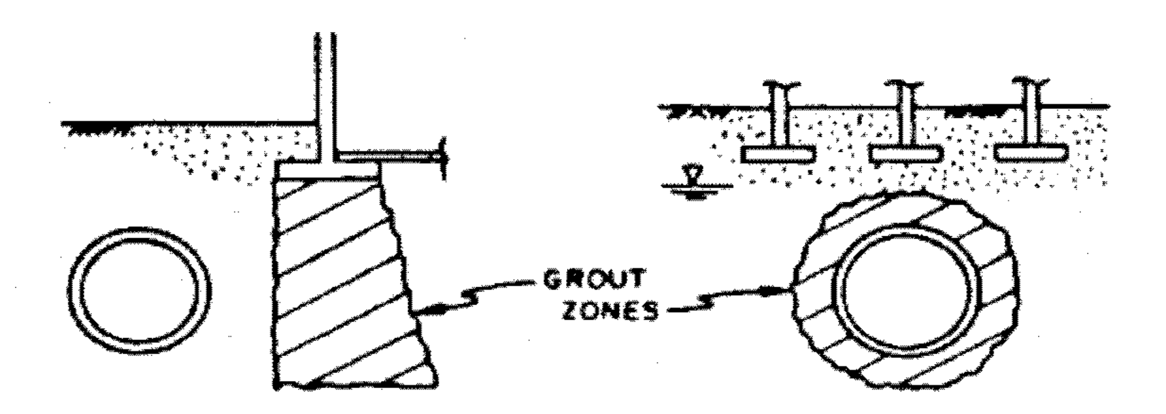
تستخدم الطلمبات الكهربائية السطحية في حالة وجود كميات قليلة من المياه غير مؤثره علي التنفيذ أو سلامة المنشآت المجاورة بجانب الطرق الأخري مثل حقن الصخور – التثليج – الهواء المضغوط .

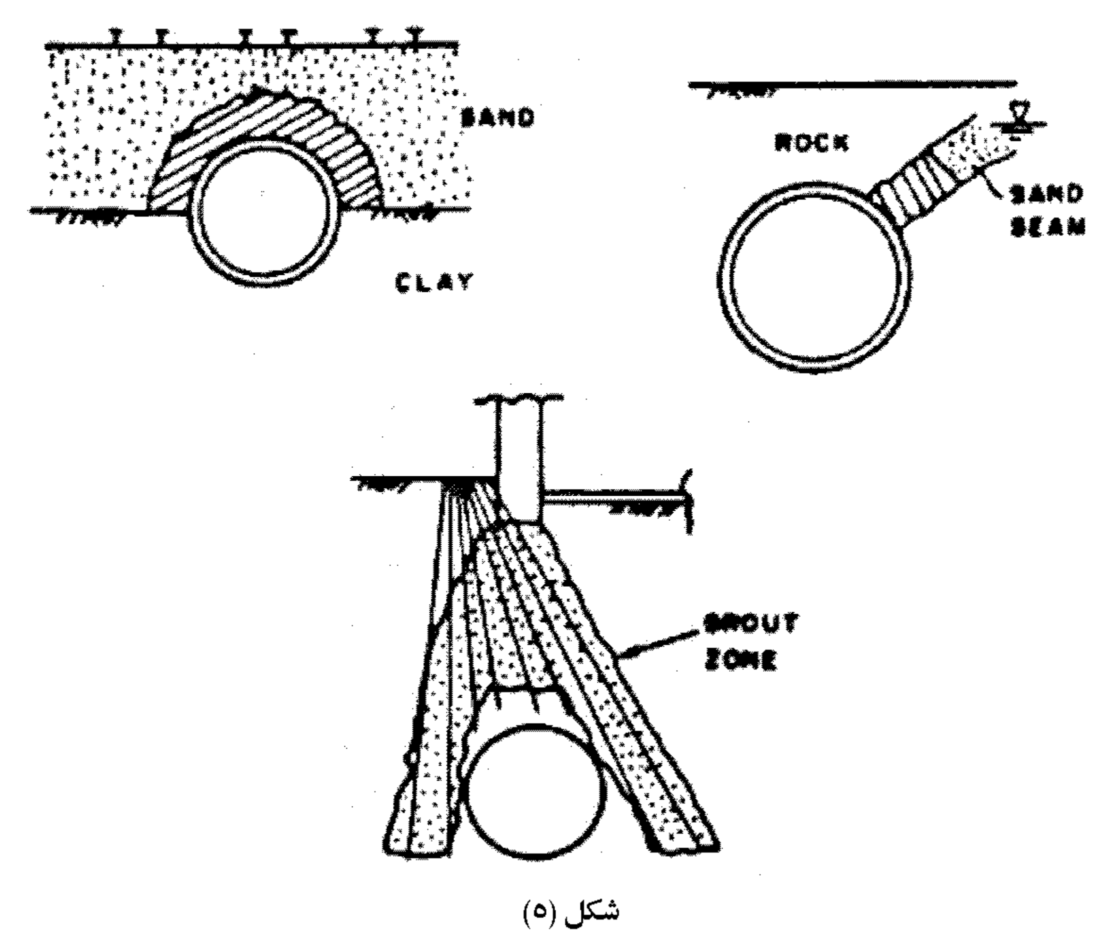
ثانيا : مقاومة المياه بصفة دائمة بعد الأنشاء :

١ – الحقن Injection :

يفضل أستخدام هذه الطريقه في الصخور الموجود بها شقوق و التي بها نسبة عاليه من المياه الجوفية ويمكن أن تستعمل قبل الأنشاء أيضا .

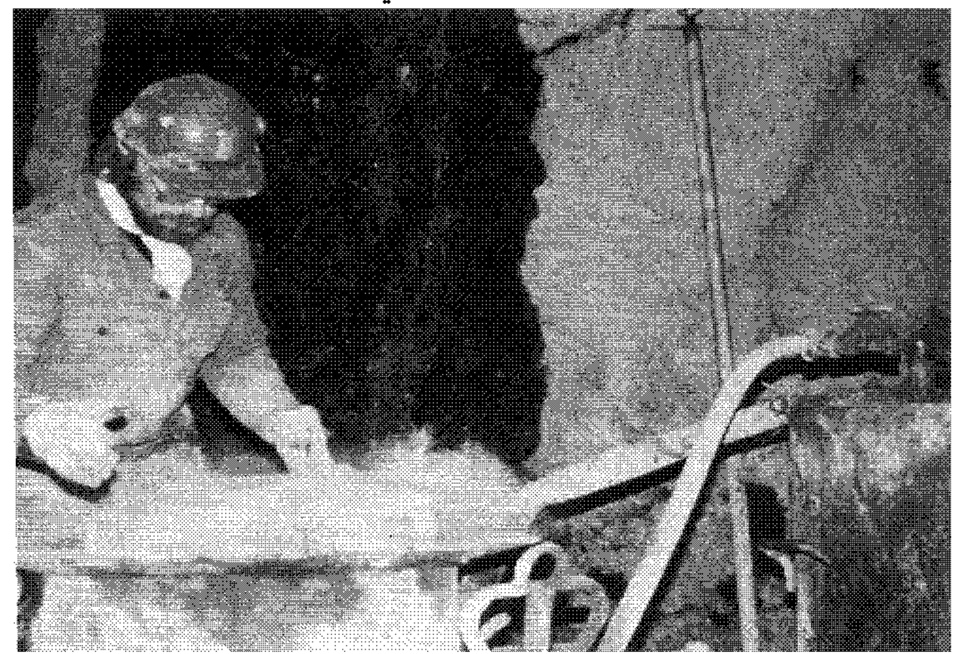
تتلخص هذه الطريقة في عمل ثقوب مختلفه الطول (١٠ – ٢٥ متر) في واجهة النفق و حول قطاعه – شكل (٥) . تحقن هذه الثقوب بواسطة لباني الأسمنت تحت ضغط عالي لتنتشر في التشققات الموجودة في الأرض الصخرية فتعمل علي سدها مكونة أسطوانة صلبة متماسكة لا تسمح بتسرب المياه الضعيفة .





شكل (٥)

تطبيقات لأعمال الحقن علي النفق



شكل (٥)

حقن الشقوق والصخور الضعيفة

يبدأ العمل في النفق بطريقه النسف العادي – و عاده يكون طول الجزء الذي يتم نسفه من ٢ – ٣ متر و هو طول ثقب النسف . تتكرر عمليه النسف حتي نصل الي نهاية الأسطوانة الصلبة التي كونها الحقن . يعاد عمل الحقن لمسافة أخري و هكذا حتي نتمكن من عبور هذه الطبقات الصخرية .

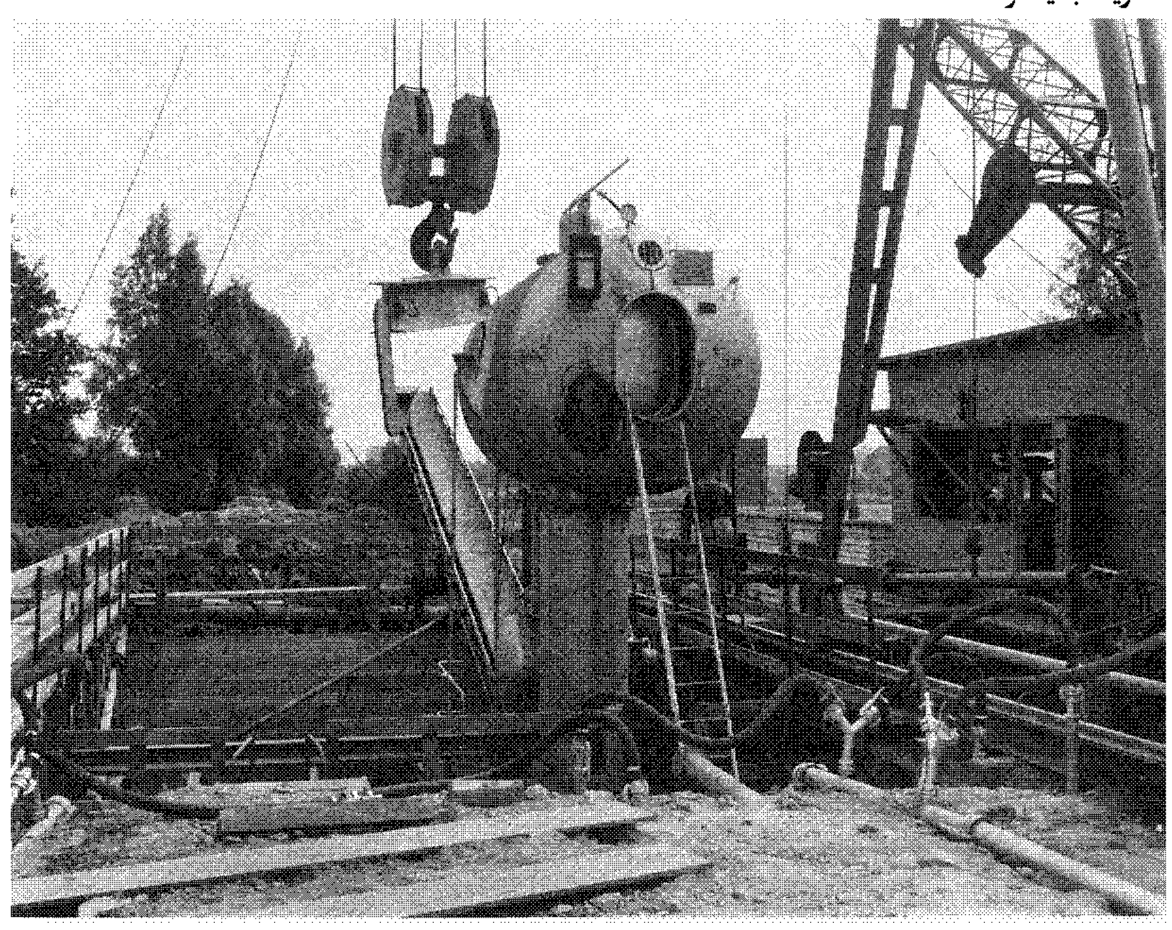
تشتمل عملية الحقن ما يلي :

الحقن السابق **Pre injection**

الحقن الاحق **Post injection**

٢ – الهواء المضغوط Compressed Air :

يتم عمل قيسون من سطح الأرض و موصلا الي النفق شكل (٦) . ثم عمل سقف من الخرسانة المسلحة . تخترق هذا السقف ماسورة رأسية في نهايتها غرفه الضغط Air Deck – مماثلا لتنفيذ بيارات الصرف الصحي بالهواء المضغوط – يضغط الهواء داخل القيسون والنفق بقدر مناسب للتخلص من مياه الرشح . هذه الطريقه بطيئة و مكلفة .



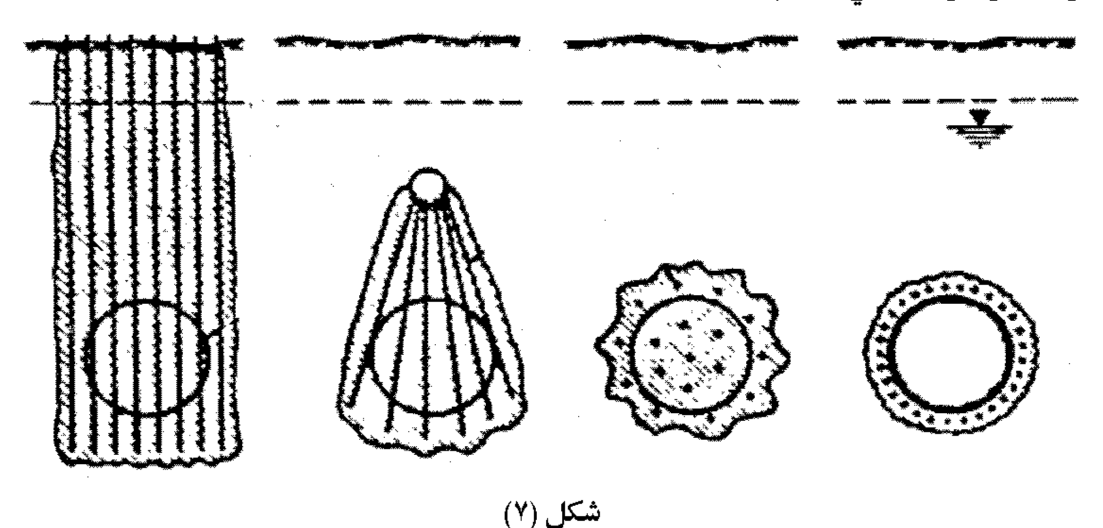
شكل (٦)

معدات الهواء المضغوط للتخلص من مياه الرشح

٣ - التثليج Freezing :

تستخدم هذه الطريقة في حالة صعوبة أستخدام الحقن للطبقات الصخرية أو تخفيض المياه الأرضية بالطرق التقليدية ، كذلك الخوف من أحتمال حدوث أنفلاق في التربة Blow Off نتيجة أستخدام الهواء المضغوط .

هذه الطريقة غير مفضلة في مشروعات الأنفاق الصخريه لأرتفاع تكاليفها . تتلخص في أنه قبل البدأ في تنفيذ النفق – تعمل مجموعه ثقوب قطر كل منها ٢٠ سم (تقريبا) حول المنطقة المراد حفرها و علي أن يكون بين كل ثقب و آخر ١ – ١,٥ متر . هذه الثقوب يجب أن تخترق الطبقة المطلوب تثليجها . تمد داخل هذه الثقوب مواسير تبريد – كالتي تستخدم في مصانع الثلج – و تبدأ المعدات في تبريد هذه المنطقة من الأرض و التي بها المياه الجوفية – و يجب أن يكون التبريد بطيئا بحيث يكون ٢ – ٣ درجة مئوية يوميا . يستمر التبريد حتي نصل الي درجة ٢٣ – ٢٥ درجة مئوية تحت الصفر . تبدأ عمليات النسف مطمئنين الي عدم تسرب المياه . بعد نهو العمليات المطلوبة في أنشاء النفق ، تترك الأرض لتعود الي درجه حرارتها العادية . و يجب الا تزيد سرعة أرتفاع درجة الحراره عن درجتين أو ثلاثه يوميا حتي نضمن عدم حدوث ضغوط زائده علي دعائم المنشأ .

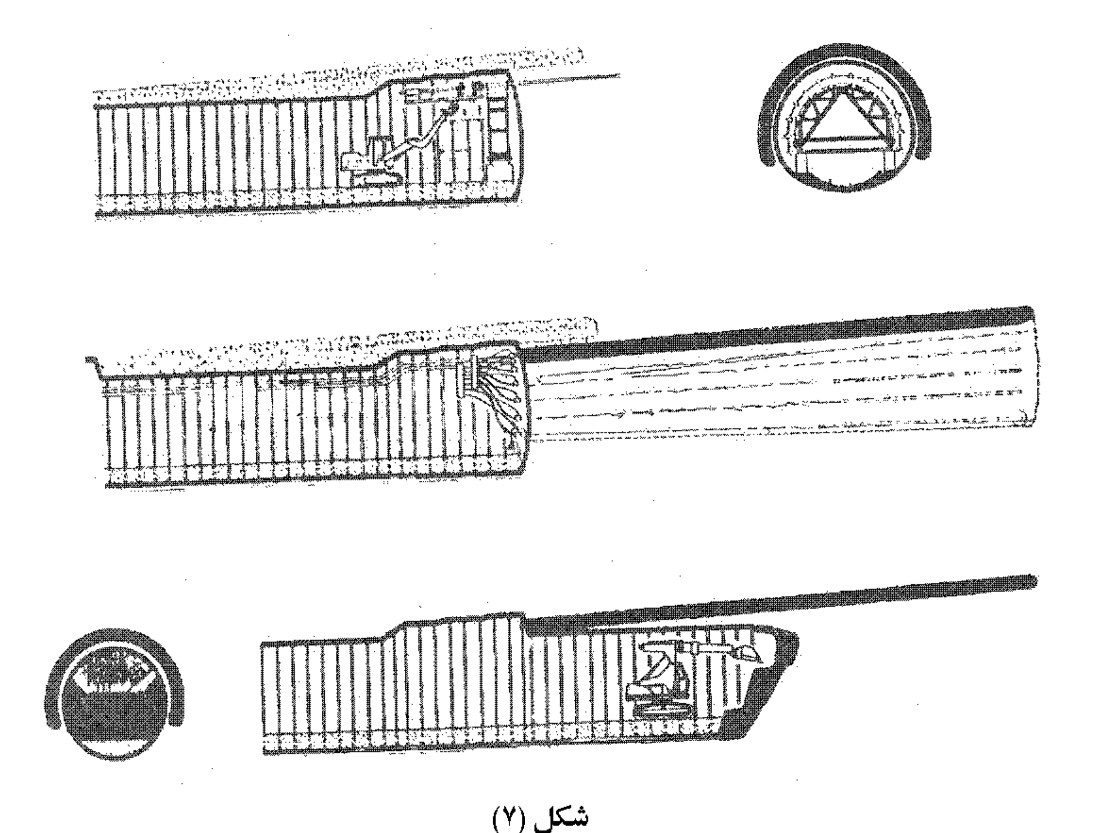


شكل (٧)

تثليج التربة حول النفق – مواسير التثليج أفقية أو رأسية أو أستخدام النظامين معا – عقد رقم ١ – مشروع الصرف الصحي للقاهرة الكبري – الأميرية

٤ – التبطين بمدفع الخرسانة :

بعد الأنتهاء من حفر القطاع الصخري للنفق ، يتم وضع شبكة من حديد التسليح وتثبيتها علي الجدران الصخرية للنفق . تدفع الخرسانة بواسطة مدفع الخرسانة لعمل التبطين اللازم وبسمك لا يقل عن ٢٥ سم علي كامل محيط النفق .



شكل (٧)

تجميد التربة باستخدام مواسير أفقية . ثقب واجة النفق بثقوب أفقية ثم دفع غاز التبريد وتثليج الأرض ثم الحفر

<u>س – صلب الجوانب ووضع الدعائم للسقف :</u>

يتوقف نوع التدعيم المطلوب للأنفاق في الأراضي الصخرية علي نوع و حالة الصخور و قطر النفق . و في بعض الصخور النارية القوية – لا نحتاج الي تدعيم جدران النفق سواء تدعيم مؤقت أو تدعيم دائم . و فيما يلي طرق التدعيم للأنفاق الصخرية :

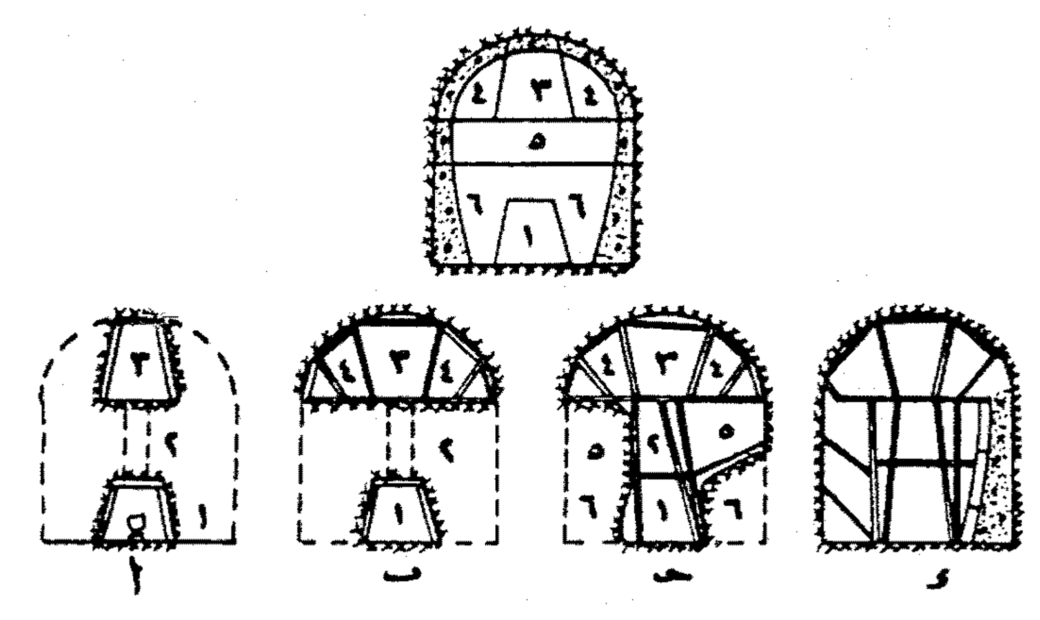
<u>الطريقه الأولي :</u>

١ – يقسم قطاع النفق الي سته أجزاء – شكل (٨) . نبدأ العمل في الجزء الأول فنحصل علي قطاع صغير يسمح بالحركه و خدمة باقي أجزاء النفق .

٢ – نبدأ العمل في القسم رقم (٣) – تنشأ آبار رأسي (٢) بين القسمين تكون مهمتها أزاله نواتج الحفر في الجزء الأسفل. توضع عربات الديكوفيل و القضبان في القسم رقم (١) لنقل ناتج التكسير الي الخارج .

٣ – بعد نهو الحفر في القسم رقم (٣) و عمل الصلبات اللازمه له . نبدأ العمل في القسم رقم (٤) للتوسيع من أعلي ثم القسم رقم(٥) ثم القسم رقم (٤) . و في هذه الخطوات يستخدم القسم رقم (١) لخدمة القطاع كله من حيث نقل العمال وأستخراج نواتج الحفر و مد الكابلات و مواسير المياه و التهوية ...

بعد نهو العمل في الأقسام السابقه تستبدل الدعامات المؤقته بدعامات ثابتة .



شكل (٨)

تقسيم القطاع الي أقسام وأزالة الصخور منها مع أستعمال الدعائم المؤقتة حتي الأنتهاء من العمل ثم تستبدل تلك الدعائم المؤقتة بأخري دعائم ثابتة .

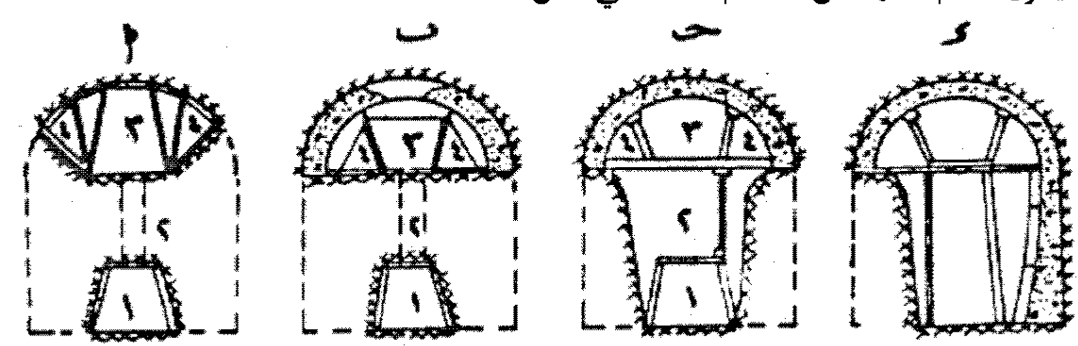
<u>الطريقه الثانية :</u>

تستخدم في الأراضي الأقل صلابه حيث يخشي علي الدعائم المؤقته من أنها لا تتحمل الضغوط الواقعة علي النفق و التي يصعب فيها أستبدال الدعائم المؤقته بالدعائم الدائمة شكل (٩) .

١ – نلجأ الي صب الخرسانات في كل قسم علي حده و ذلك بعد الأنتهاء من حفره . و يكون وضع الدعائم الدائمه من أعلي الي أسفل .

٢ – بعد الأنتهاء من القسم رقم (١) ثم القسمين (٣) ، (٤) – نبدأ في وضع الدعائم الدائمة و صب الخرسانات اللازمة.

٣ – نلجأ الي توسيع أقسام (٥) ، (٦) مع صب الخرسانات في الأماكن المنتهية . و عند الأنتهاء من القطاع كله يكون قد تم الأنتهاء من الدعائم الدائمة في النفق .



شكل (٩)

تقسيم قطاع النفق الي أقسام مع وضع الدعائم الدائمة أثناء أزالة الصخور مبتدئين من أعلي الي أسفل

الطريقه الثالثة :

تستخدم هذه الطريقة في الأراضي الضعيفة نسبيا أو المنشآت ذات القطاعات الكبيرة و هي مثل الطريقة الثانية ألا أن صب الخرسانات للدعائم الدائمة يبدأ من أسفل الي أعلي شكل (١٠).

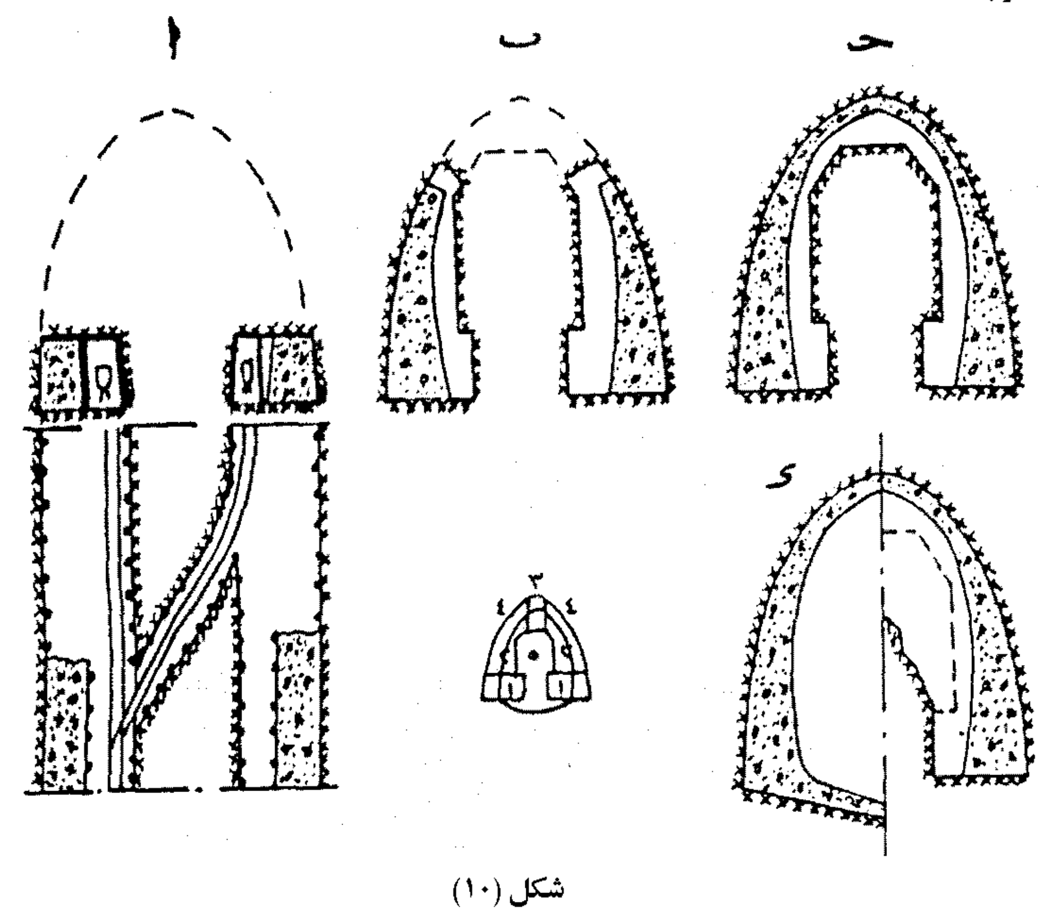
١ – بعد نهو القسمين (١) ، (٢) المستخدمان لخدمة عملية الحفرو أنتقال العمال والأنشاء – توضع الدعائم الدائمة و هي من الخرسانة المسلحة .

٢ – يتم التوسيع الي أعلي في القسم رقم (٢) مع صب الخرسانات للأجزاء المنتهية .

٣ – توسيع و أزالة المناطق (٣) ، (٤) .

و يلاحظ أن الجزء الأوسط رقم (٥) يترك لتسهيل العمل و لخدمه الأقسام المختلفة حتي يتم وضع الخرسانة المسلحة في جوانب و سقف النفق بالكامل .

٤ – يزال الجزء رقم (٥) ثم يعمل التوسيع اللازم في أرضية النفق لصب الخرسانات اللازمه بالقطاع المطلوب .



شكل (١٠)

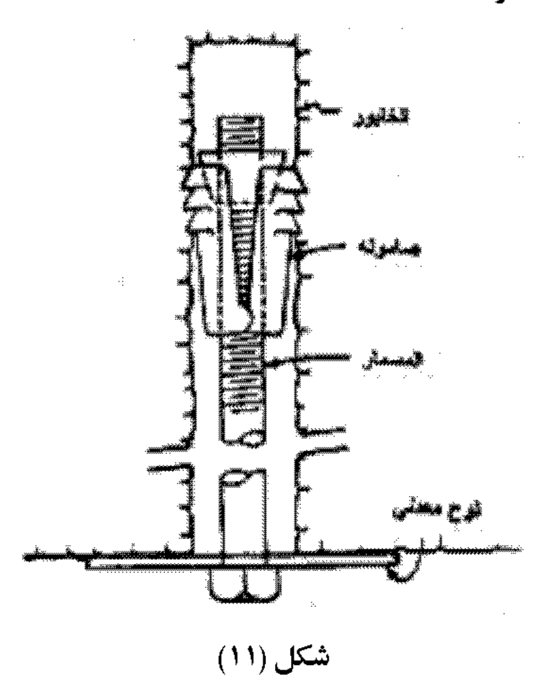
تقسيم القطاع الي أقسام مع وضع الدعائم الدائمة أثناء أزالة الصخور مبتدئين من أسفل الي أعلي

الطريقه الرابعة :

أستخدام خوابير التثبت Roof Bolts :

يستخدم هذا النوع من خوابير التثبيت – شكل (١١) لتثبيت الطبقات الصخرية . فعند أجراء عملية النسف و عمل النفق داخل الصخور– تتكون مجالات قوي شد و قص و ضغط حول قطاع النفق عالية القيمة . فأذا كانت هذه الطبقات لا تتحمل هذه الأجهادات و تميل الي السقوط و الأنهيار – فيمكن بواسطة هذه الخوابير تثبيت صخور محيط النفق في الصخور السليمة و التي تلي هذه الطبقة .

و عند تثبيت هذه الخوابير داخل الثقوب – و عند الرباط علي الصامولة – يسحب الخابور صامولة مخروطيه التي تدفع بدورها الغطاء المعدني الي الخارج الي جدار الثقب – و بمزيد من الرباط نحصل علي مزيد من التماسك بين جدران النفق و الخابور – تربط هذه الصامولة بعد تركيب خوصة حديد ٦"×٦"×٤/١" علي سطح الصخر .



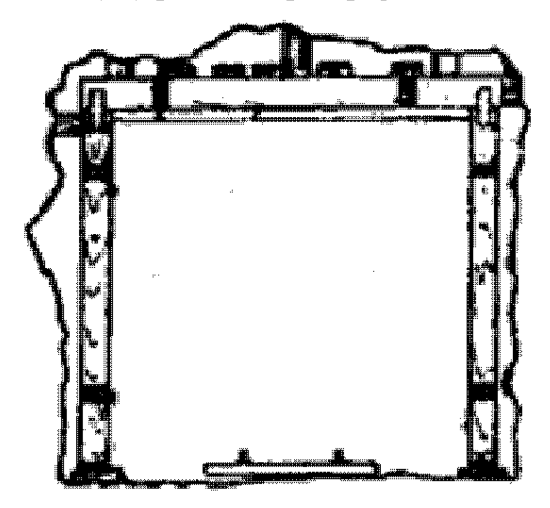
شكل (١١)

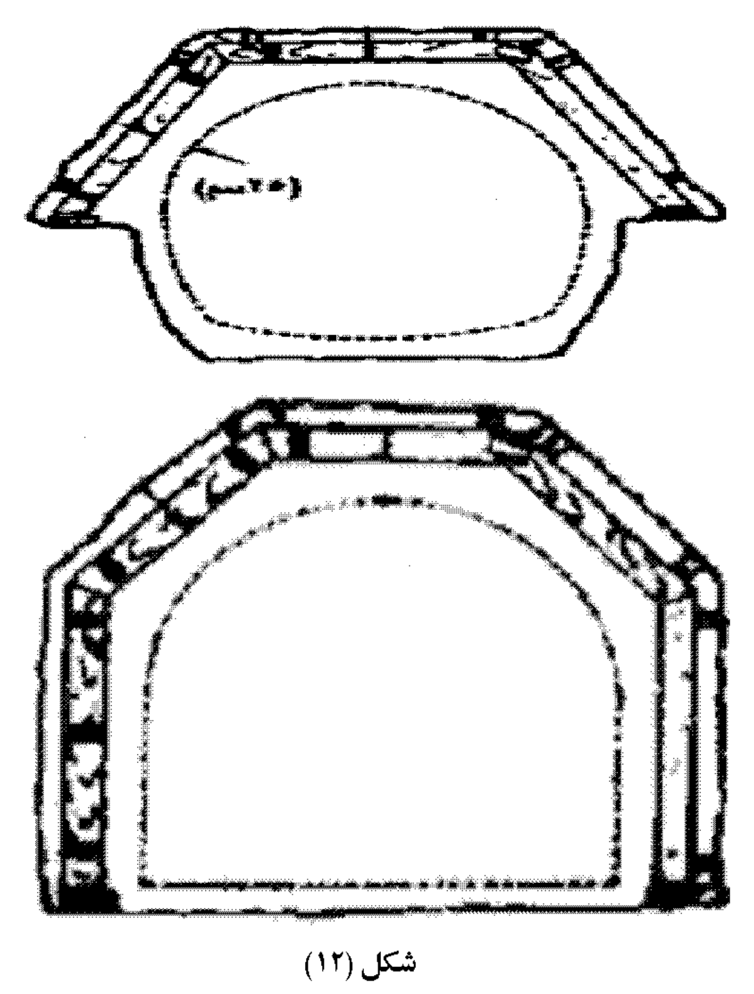
أستخدام خوابير تثبيت الصخور

<u>**الطريقه الخامسة :**</u>

التدعيم باستخدام الخشب :

تستخدم هذه الطريقة في حالة الأنفاق الصغيرة و المتوسطة – شكل (١٢) .





شكل (١٢)

نماذج من قطاعات الأنفاق – التدعيم بالخشب . الكسوة الخرسانية الداخلية = ٢٥ سم

الطريقة السادسة :

التدعيم باستخدام قطاعات و دعامات حديدية :

تستخدم هذه الدعامات بالطرق الآتية :

١ – أذا كا ن الصخر قوي و متماسك – فأنه يكتفي بوضع الدعامات الحديدية فقط لتكون نقط أرتكاز قوية . و يتم وضع خوابير بين الدعامات و جسم النفق – شكل (١٣) .

٢ – يتم عمل تغطية بالخشب أو ألواح حديدية Lagging بين كل دعامتين و ذلك في حالة الصخور الضعيفة .

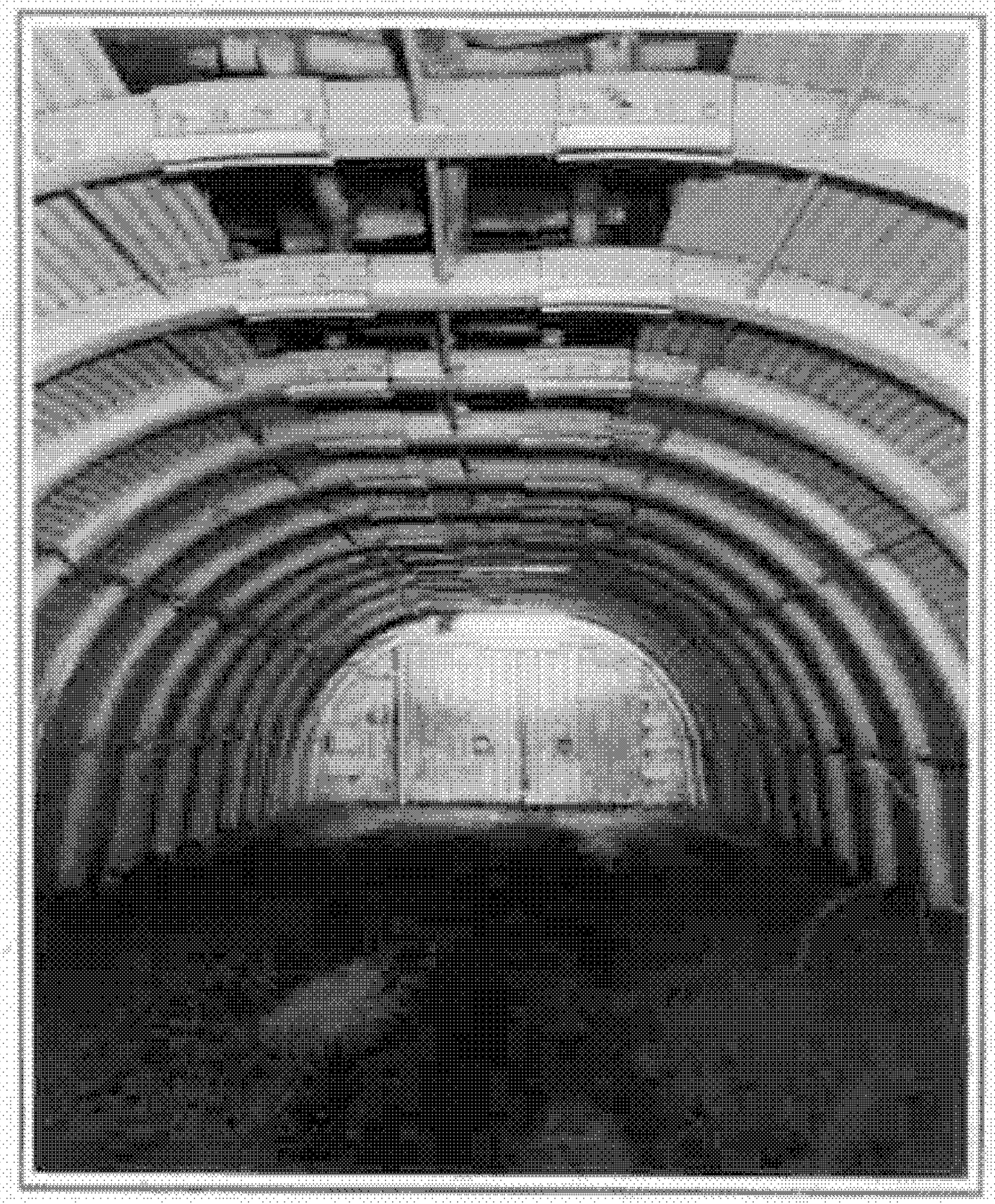
٣ – أذا كانت الصخور ضعيفة جدا فأنه يتم تقويتها باستخدام مدفع الخرسانة Shot Crete– وهي عبارة عن مضخة تعمل بضغط الهواء و لها مخرج ضيق Nozzle . تستخدم خرسانة ذات زلط صغير الحجم – تندفع هذه الخرسانة بفعل ضغط الهواء لتغطي الشقوق و السطح الداخلي للنفق . و يفضل كسوه جدران النفق بشبكة حديد تسليح قوية Wire Mesh لتكون جدارا من الخرسانه المسلحة . و بيان نسبة الخلطة المستخدمـــة في مدفع الخرسانة كالآتي / ياردة مكعبة :

أسمنت =٦٦٠ رطل . رمل = ١٧٩٠ رطل سن ٣/٤" = ١٣٠٠ رطل

أضافات معجله للشك = ٩٠ رطل نسبه المياه / الأسمنت = ٤ : ١

الناتج = ١٠ ياردة مكعبة .

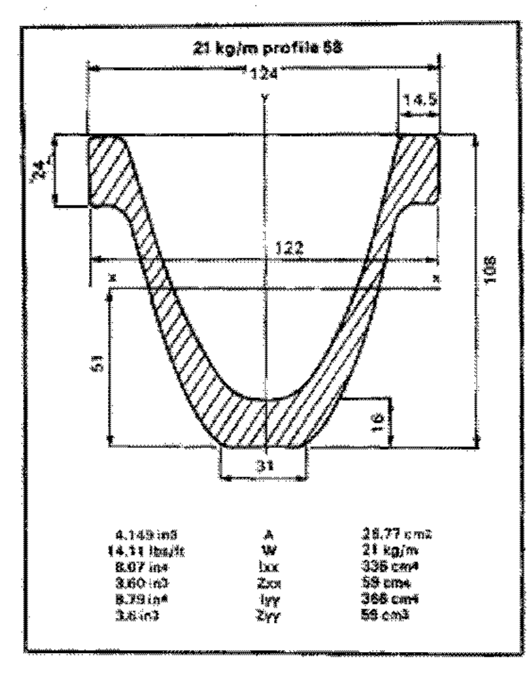
و أحيانا تستخدم الدعامات الحديدية و يملأ الفراغ بينهما باستخدام مدفع الخرسانة بدلا من أستخدام الخشب أو الألواخ الحديدية . و يفضل أستخدام هذه الطريقة و التبطين بالخرسانه في أقرب وقت بعد عملية النسف و الأزالة حتي تزيد من ضمان و حماية و أمان العمال القائمين بنقل ناتج الحفر .

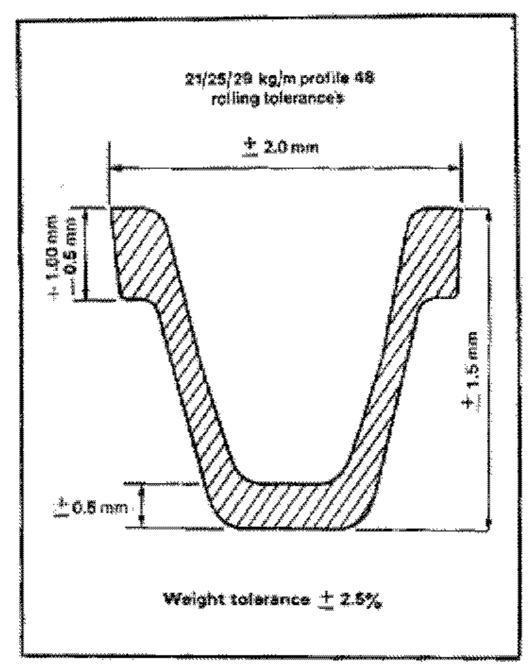


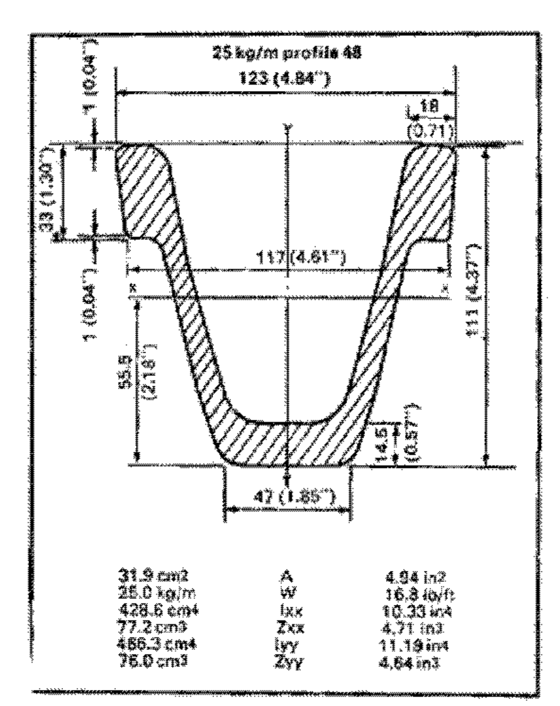
شكل (١٣)

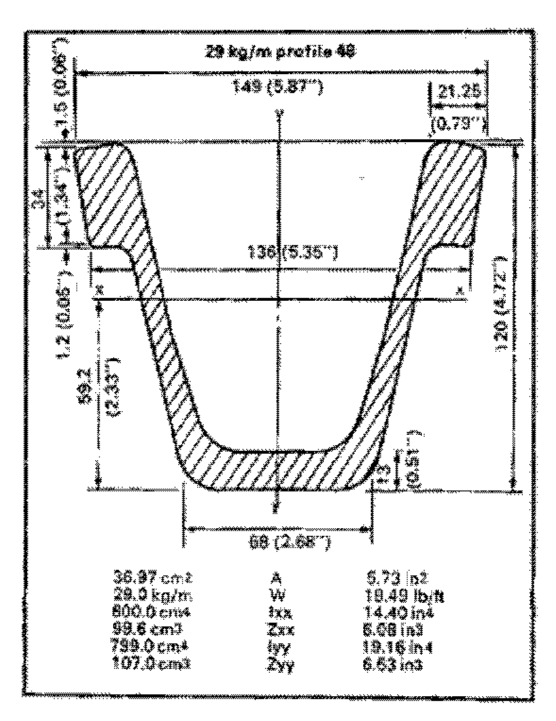
صلب جوانب النفق بقطاعات معدنية



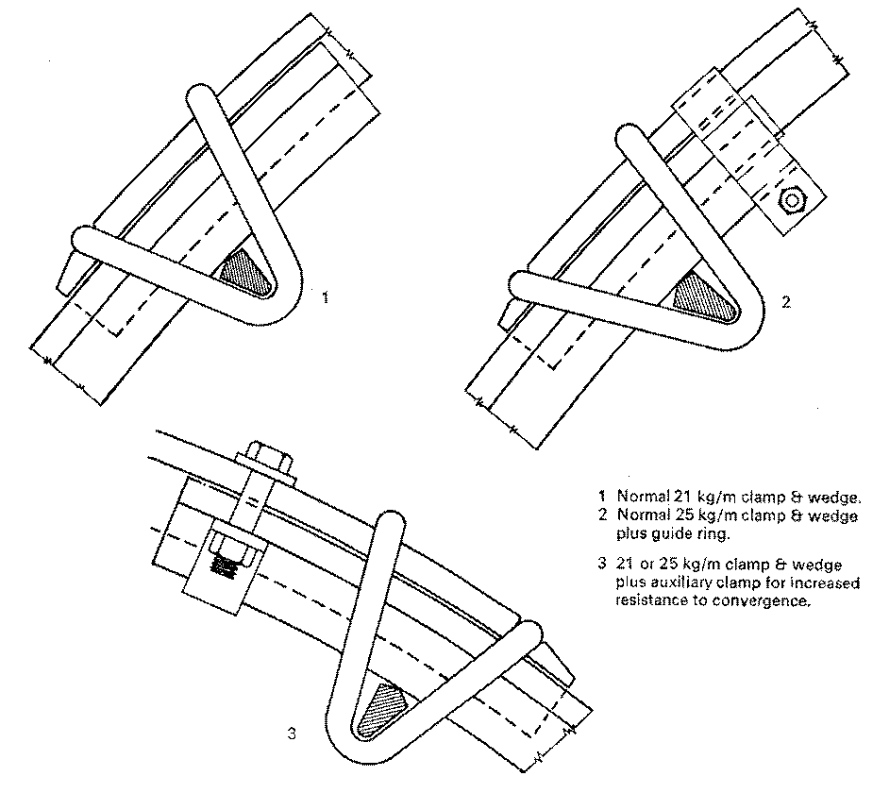




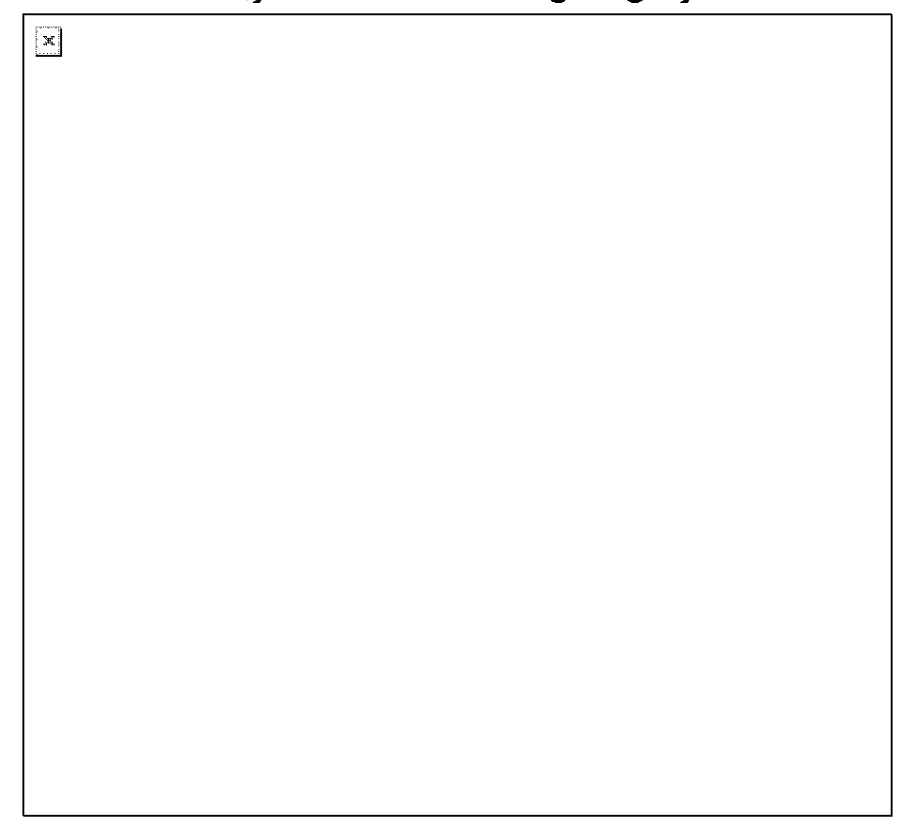




Telescopic Steel Arches قطاعات تليسكوبية مصنعة لصلب الأنفاق

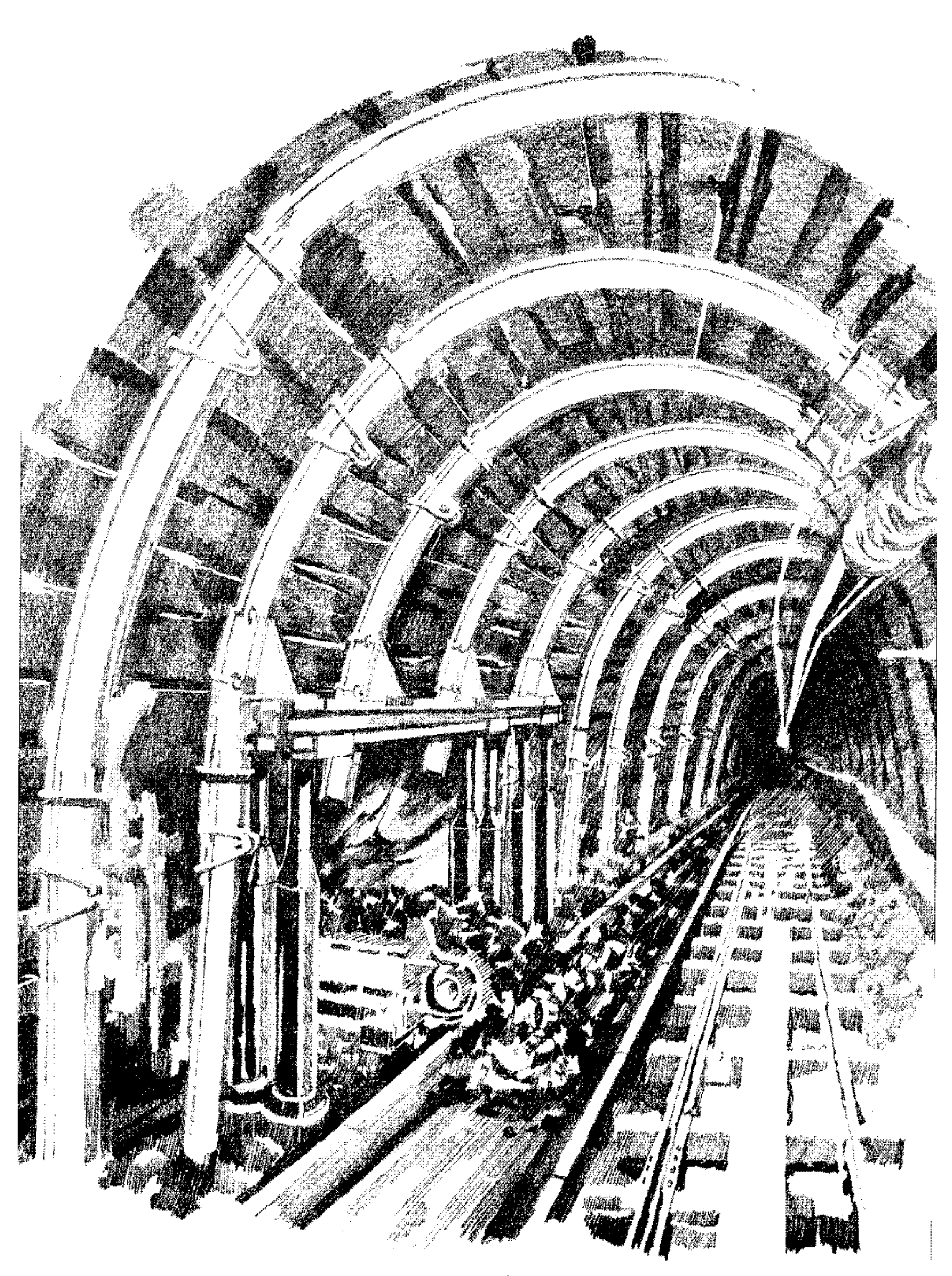


وسائل أتصال الأعضاء الحديدية التليسكوبية



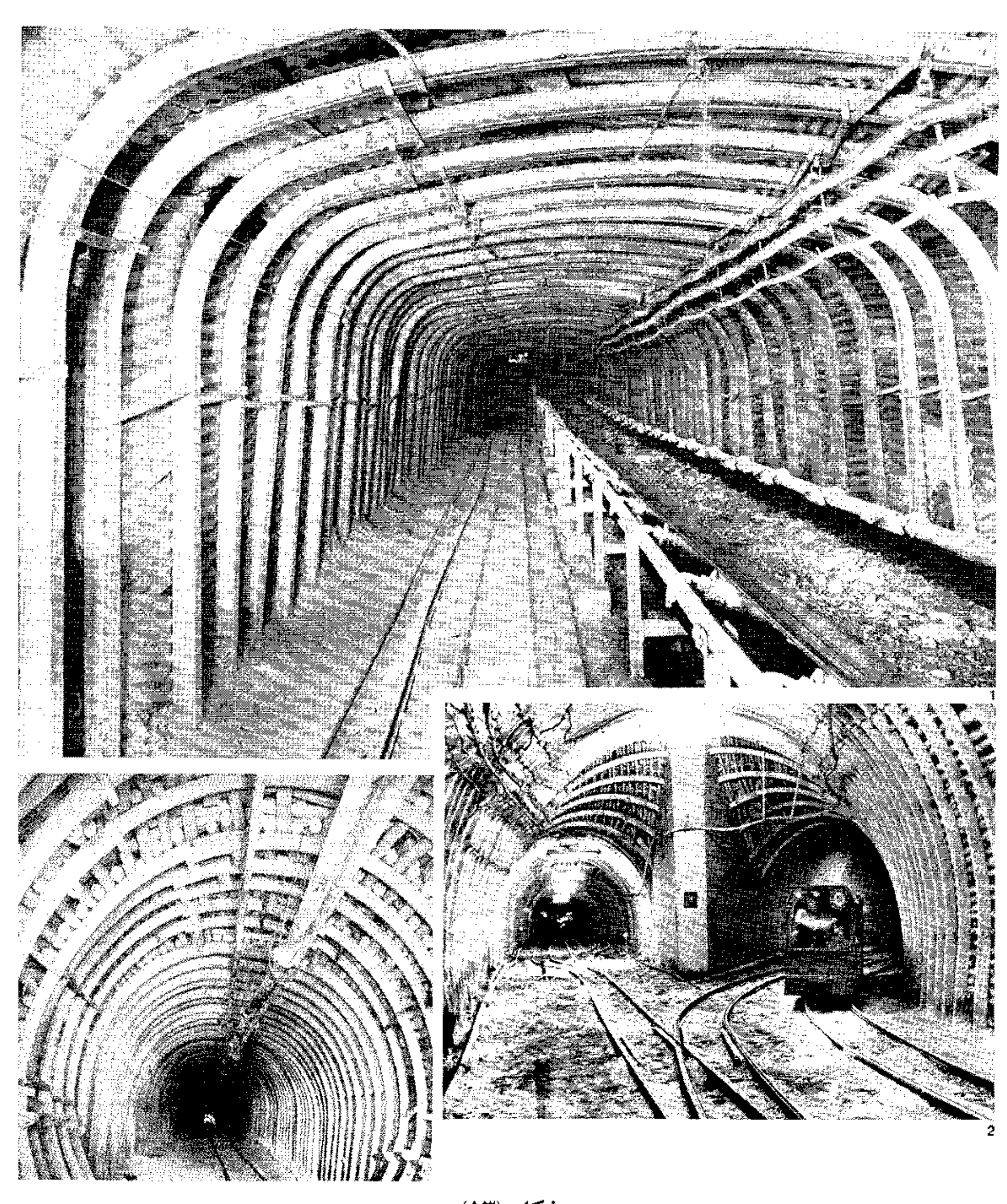
شكل (١٣)

رباط الأعضاء بالخوابير والكلبسات



شكل (١٣)

قطاع في أحد الأنفاق ويظهر الشدة الحديدية



شكل (١٣)

أمثلة للشدات الحديدية الجاهزة بالأنفاق

تصميمات وأنتاج : هيئة الحديد البريطانية British Steel Corporation

طرق الحفر الميكانيكية :

هذه الطريقه تناسب الصخور الرسوبية و التي لا تتجاوز صلادتها ١٢٥ كجم/ سم٢، و هي غير مناسبة للحفر في طبقات الصخور النارية . و يعتمد معدل الحفر علي صلادة الصخر . تمتاز هذه الطريقة بأنها تقوم بتوفير الأمان للعاملين في المشروع كما أنها توفر سرعة في الأداء و تقلل كميات الحفر الزائده عن القطاع المطلوب و بالتالي توفر كميات الخرسانة اللازمه للتبطين .

و تنقسم طرق الحفر الميكانيكية الي قسمين رئيسين :

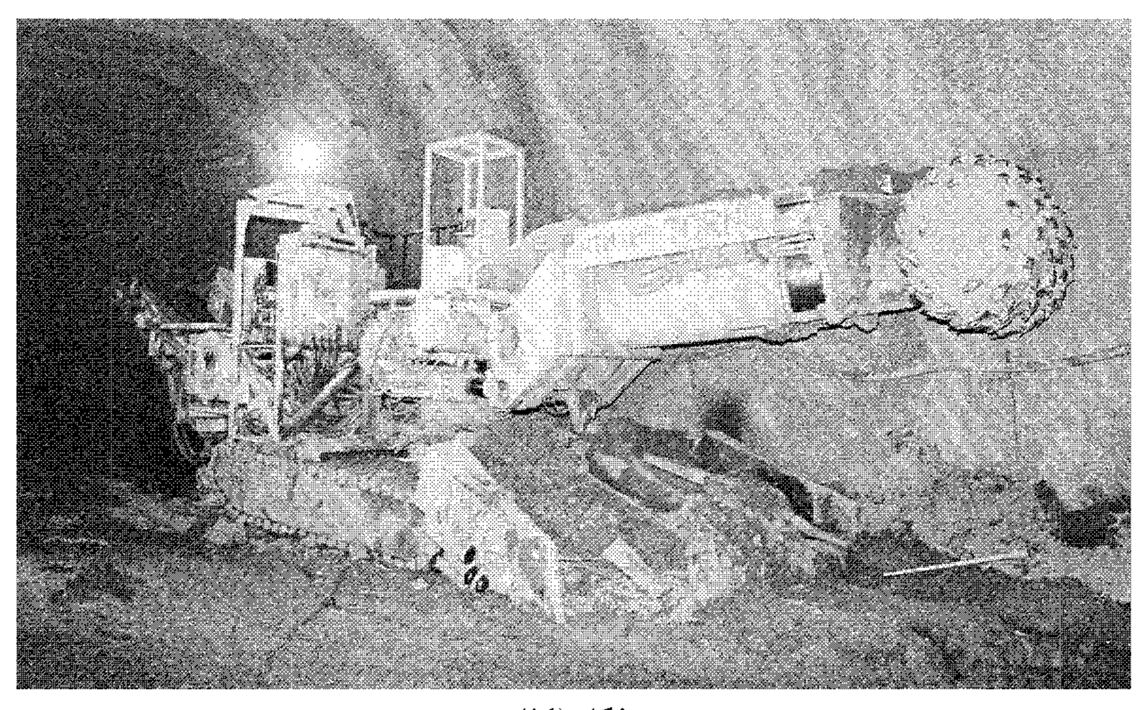
١ - طريقه المعدات .

٢ - طريقه الدرع .

أولا : طريقه المعدات

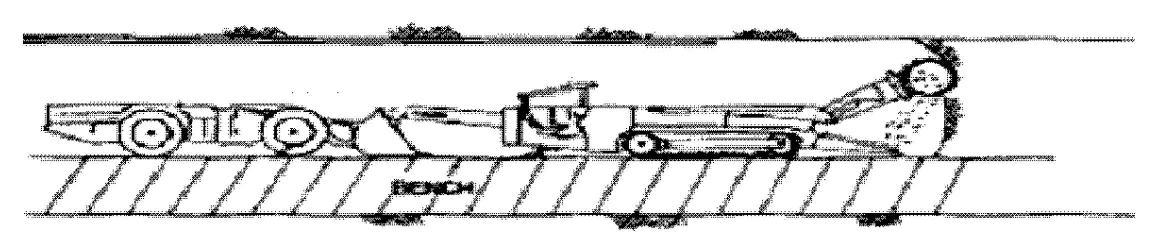
هذه الطريقة مناسبة للحفر في الصخور الضعيفة و المتوسطة - و المعدة عبارة عن ماكينة علي كاوتش أو مجنزرة - لها ذراع أمامي في نهايته كرة معدنيه مثبت بها أسنان قاطعة تتحرك دائريا. يتحرك الذراع في جميع الأتجاهات حسب الطلب . وعادة تزود هذه الماكينة بسير ناقل للأتربة Belt Conveyor - شكل (١٤) .

علي أن هذا النوع من المعدات يتطلب مساحة واسعة نسبيا وبدون أي تدعيم أو صلبات للنفق أو عوائق .

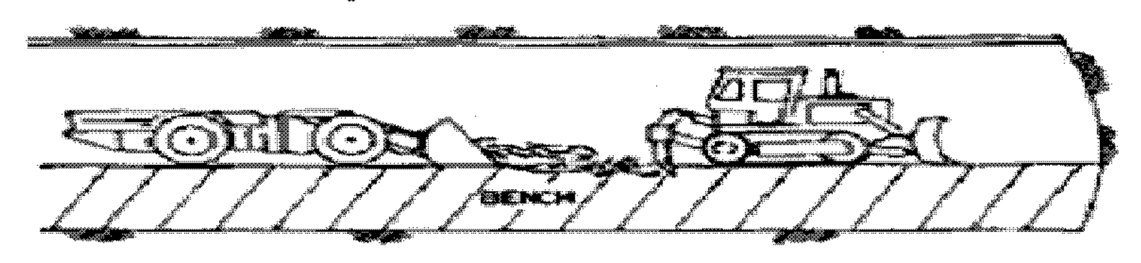


شكل (١٤)

حفارة الصخور - تتراوح الوزن من ١٥ - ١٣٠ طن والقدرة ٤٠ - ٤٥٠ كيلووات . وعادة تزود هذه المعدة بسير ناقل لنواتج الحفر الي عربات الديكوفيل



حفارة الصخور مع معدة دافعة **Pusher** لزيادة الضغط علي الأرض الصخرية



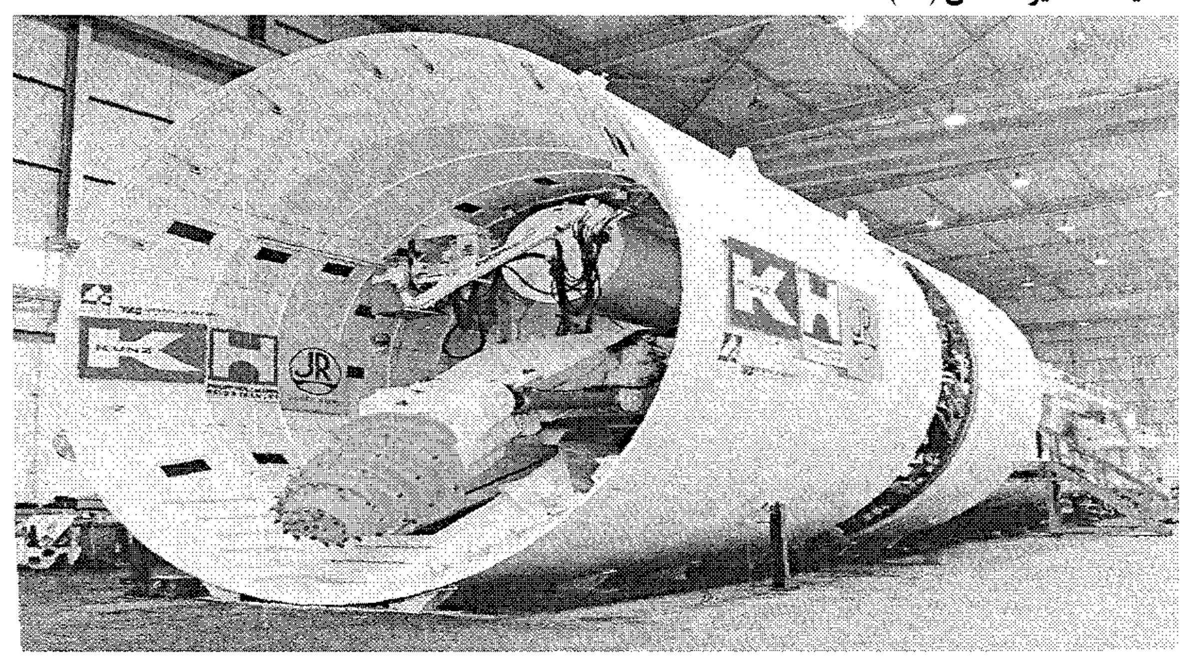
شكل (١٤)

أزالة نواتج حفر الصخور – حرث وتفكيك الأرض بالبلدوزر ثم أعادة تجميعها وتحميلها

ثانيا : طريقة الدرع :

تستخدم هذه الطريقة في الأنفاق الدائرية . يزود الدرع بمروحة أمامية دوارة و أسنان قويه تقوم بتحطيم الصخور . هذه الأسنان تكون من مادة عالية المقاومة جدا و تكون الماكينه مزودة بسير ناقل لنقل ناتج التكسير من واجهة النفق الي العربات الناقلة (الديكوفيل) و التي تسير علي قضبان معدنية لنقل نواتج التكسير الي خارج النفق .

كما ينبغي أن يكون هناك مصدرا للمياه أمام المروحة و الأسنان للقيام بعمليه التبريد و تقليل الغبار الناتج من عملية التكسير – شكل (١٥) .



شكل (١٥)

الحفارة داخل الدرع

ص – وضع حديد التسليح للنفق الصخري و صب خرسانة التبطين :

تبطن الأنفاق بأحدي الطرق الآتية :

١ – تبطين بالخرسانة .

٢ – تبطين باستخدام مدفع الخرسانة .

٣ – باستخدام رقائق البوليفينيل كلورايد PVC – تستخدم هذه الرقائق في الأنفاق المنفذة بالحفر المكشوف وكذلك الأنفاق الصخرية فقط .

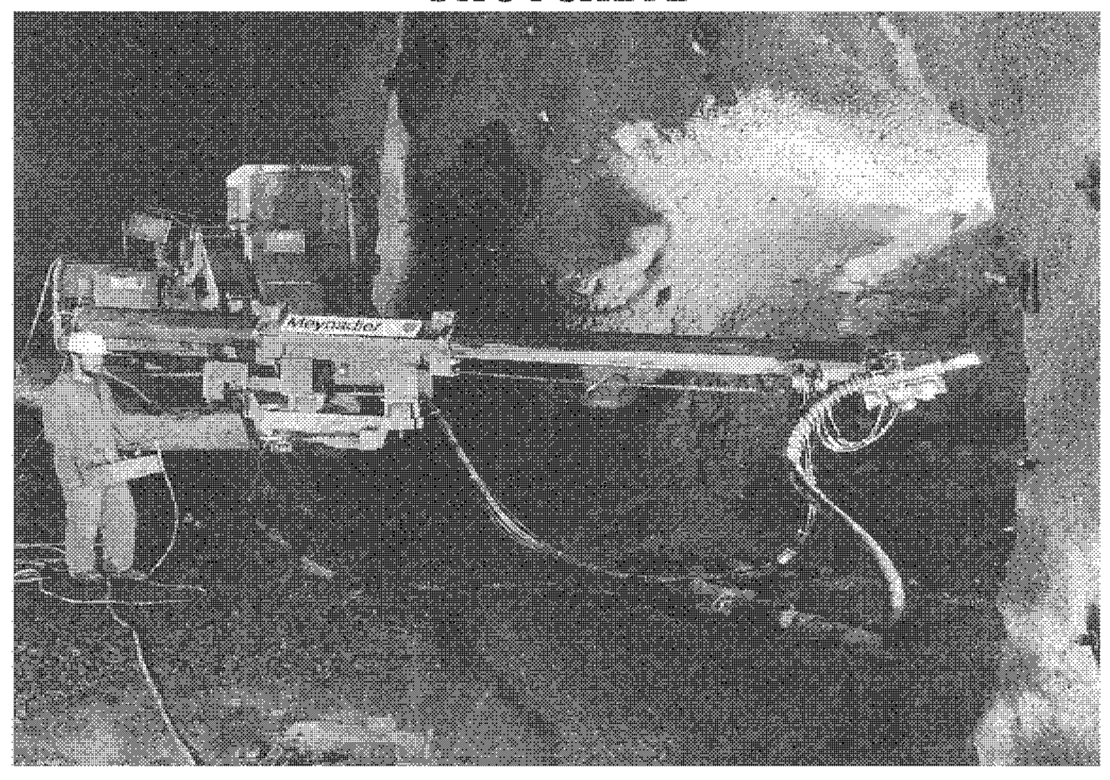
١ – تبطين بالخرسانة :

تستخدم الفرم المعدنيه سهلة الفك والتركيب لصب الخرسانات وتبطين النفق .

٢ – تبطين باستخدام مدفع الخرسانة :

يتم تركيب شبكة من حديد التسليح مع تثبيتها في المحيط الصخري للنفق و علي أن تكون في الموضع الصحيح . تدفع الخرسانة من خلال مدفع الخرسانة و بالخلطة الخرسانية الخاصة علي الجوانب الصخريه .
توضع شبكة حديد تسليح قوية و علي أن يكون سمك التبطين ٢٠ – ٣٠ سم – شكل (١٦) .

SHOTCRETE

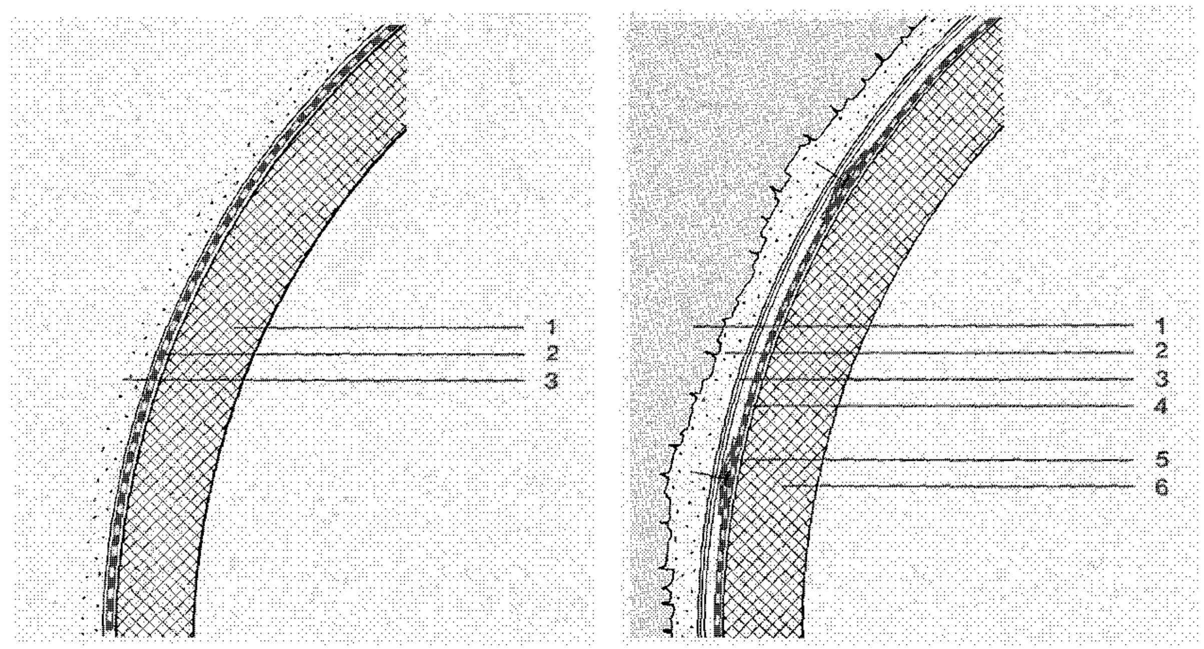


شكل (١٦)

آلة قذف الخرسانة لتبطين النفق

٣ – التبطين برقائق البوليفينيل كلورايد :

يمكن طلب المقاسات المناسبة للعمل وكذلك سمك الرقائق ، وعادة يكون السمك ٢ مم . يمكن أن تكون تلك الرقائق مقاومة للحريق – شكل (١٧) . يتم لحام ألواح البوليفينيل كلورايد باللحام بآلة دفع الهواء الساخن .

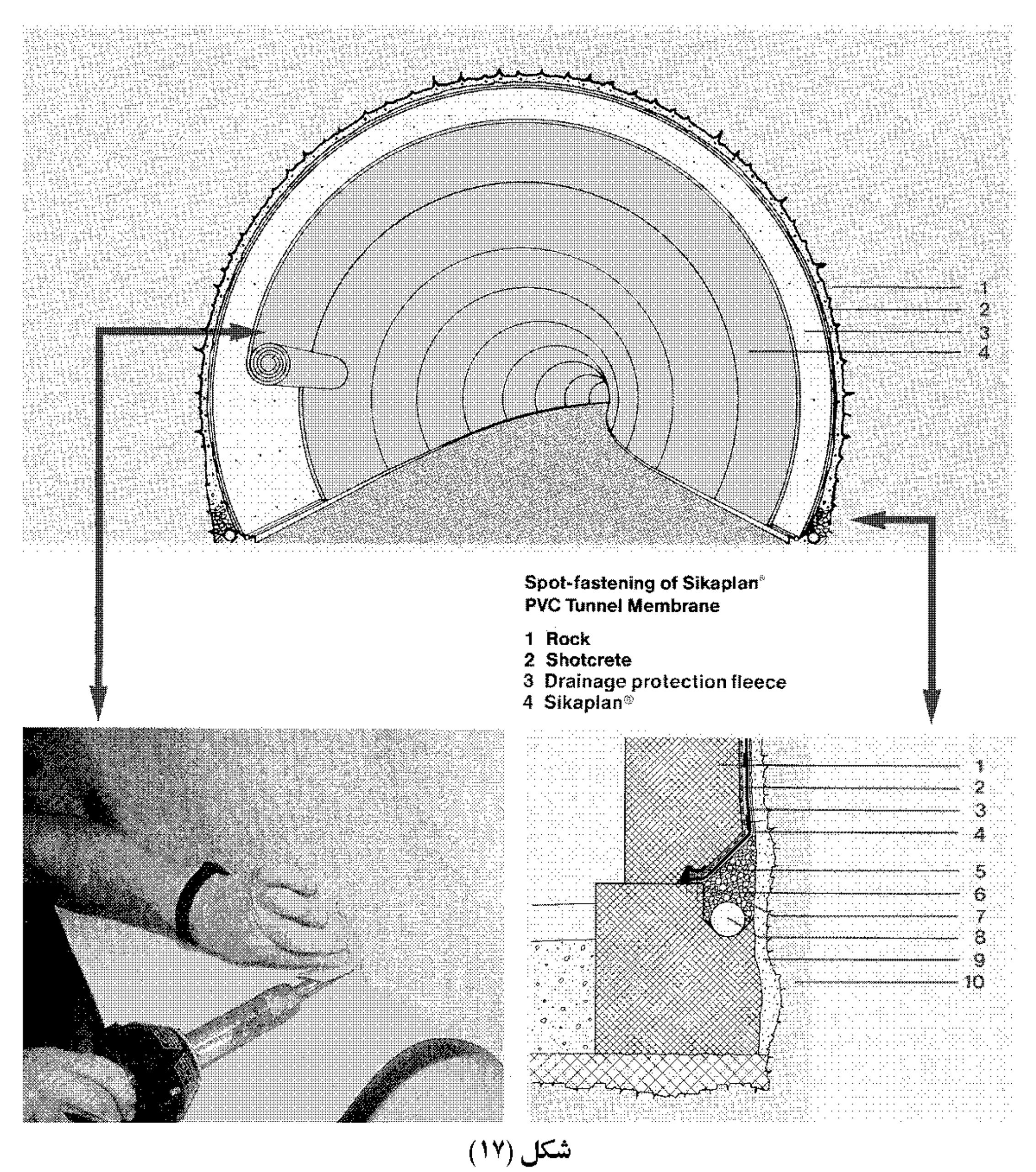


شكل (١٧)

العزل بواسطة رقائق البولي فينيل كلوريد لجوانب النفق المنشأ في الصخر

Shaft

عزل البيارات الموجودة علي النفق برقائق PVC

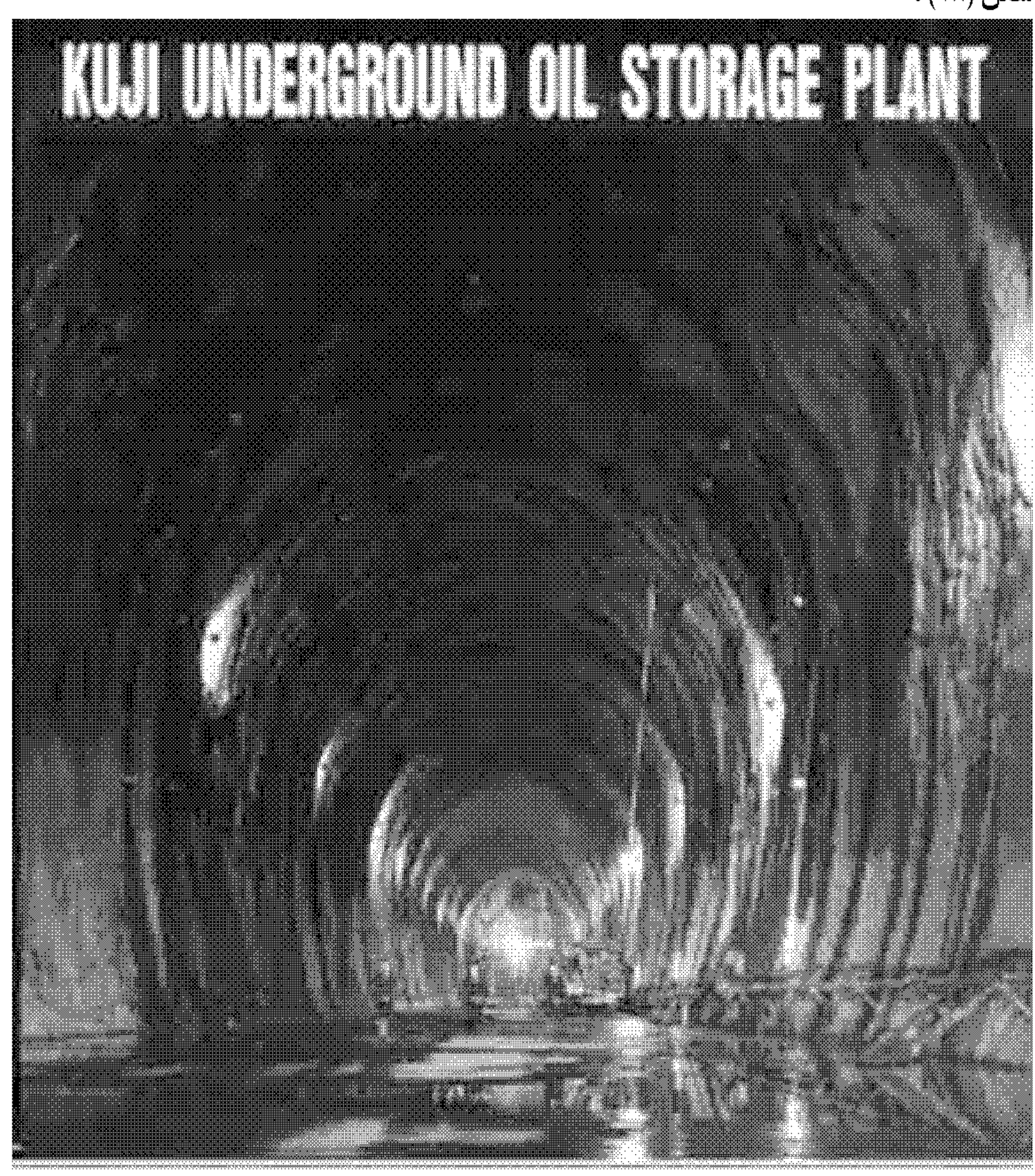


شكل (١٧)

عزل الأنفاق – يتم لحام ألواح البوليفينيل كلورايد باللحام بآلة دفع الهواء الساخن

نموذج لأحد الأنفاق الصخرية :

شكل (١٨) .



شكل (١٨)

نفق صخري لأغراض التخزين

الأنفاق ذات الأقطار الصغيرة
MICRO TUNNELS

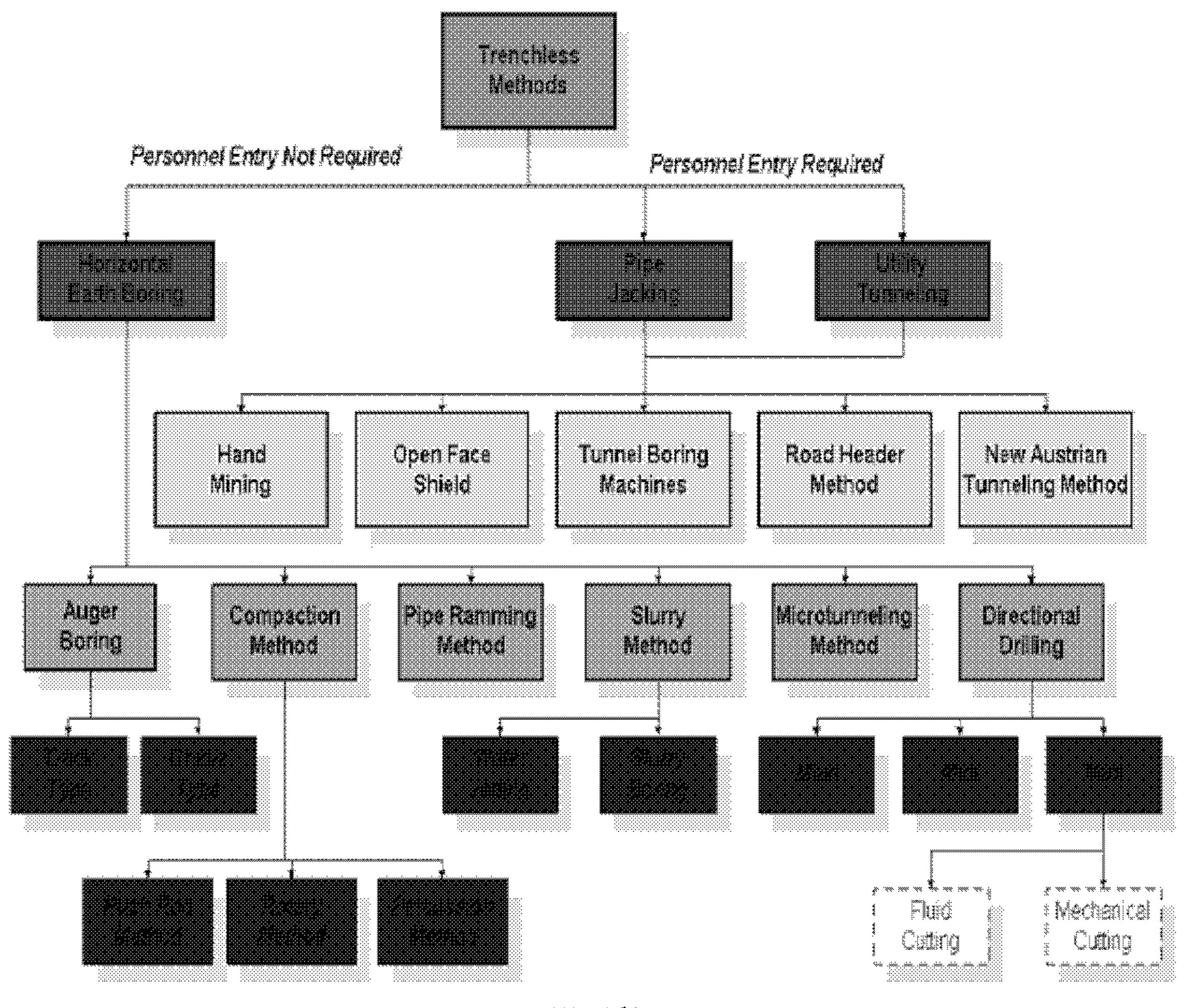
الأنفاق ذات الأقطار الصغيرة

MICRO TUNNELS

-

الأنفاق ذات الأقطار الصغيرة:Micro Tunnels

تطلق هذه التسمية علي الأنفاق ذات الأقطار ٢٥٠ مم – ٨٠٠ مم حيث يتم الحفر آليا باستخدام **Remote Control** لتوجيه وتشغيل المعدة فوق سطح الأرض آليا ودون وجود أي من الأفراد داخل النفق نظرا لصغر القطر . ويمكن أختيار المعدة المناسبة للنفق تبعا لظروف الأرض الطبيعية ومواصفات النفق – شكل (١) .



شكل (١)

كيفية أختيار المعدة المناسبة

وقد أمتد تنفيذ هذه الأنفاق حتي وصل الي قطر ١٥٠٠ مم بنفس التكنيك . ويمكن توصيف عناصر تنفيذ الأنفاق الي ما يلي :

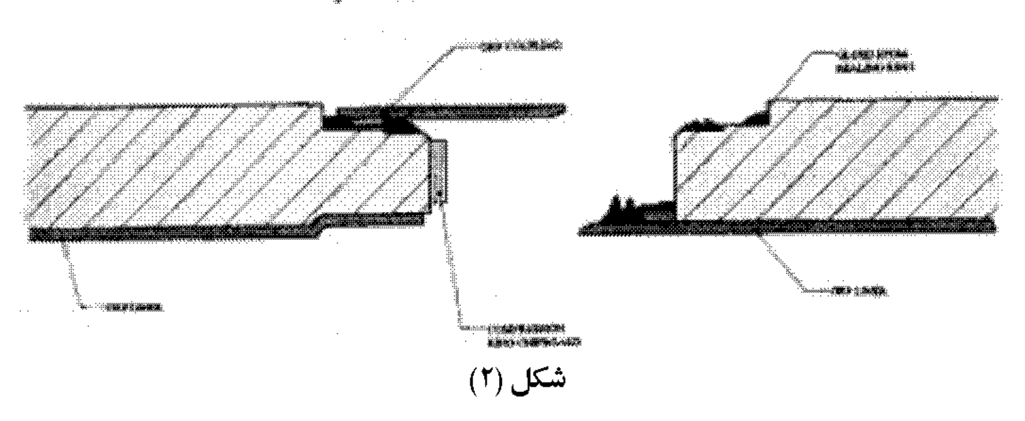
١ - الماسورة :

تصنع الماسورة المستخدمة في النفق من البوليستر أو الفخار أو الخرسانة المسلحة أو الزهر المرن أو الخرسانة العادية أو الصلب حسب الحاجة وخسب التصميم وتوفر الماسورة ، كما يصل العمق ١٥ متر بدون أنظمة تخفيض المياه مثل الآبار العميقة أو تثليج التربة أو أستخدام الهواء المضغوط .

أنواع المواسير المستخدمة :

أ) المواسير البوليستر :

تكون المواسيرالبوليستر من النوع ذو الرأس والذيل وتغلف بطبقة من الخرسانة المسلحة من الخارج بسمك يتم تصميمه لمقاومة ضغط الروافع وبطول لا يزيد عن ٣متر . فمثلا : الماسورة قطر داخلي = ٢٥٠ مم يكون القطر الخارجي لها = ٦,٥ سم ، والماسورة قطر ٥٠٠ مم يكون سمك البدن ٧ سم ، و الماسورة قطر ٨٠٠ مم يكون سمك البدن = ٨ سم . علي أن سمك البدن والتسليح يحدد من قوه الروافع الهيدروليكية والتي يتم تحديدها أيضا من القوة اللازمة لدفع النفق بطول معين ، فمثلا قوه الروافع تكون أكبر في حالة النفق الأطول للتغلب علي قوي الأحتكاك بين بدن الماسورة و التربة المحيطة بها وكذلك عمق الماسورة من سطح الأرض حيث يمكن ان تكون الماسورة حتي ١٥ مترا تحت سطح الأرض . تترك مسافة لا تزيد عن ٨ - ١٠ سم من ذيل الماسورة الفيبرجلاس بدون تغليف بالخرسانة شكل (٢) .

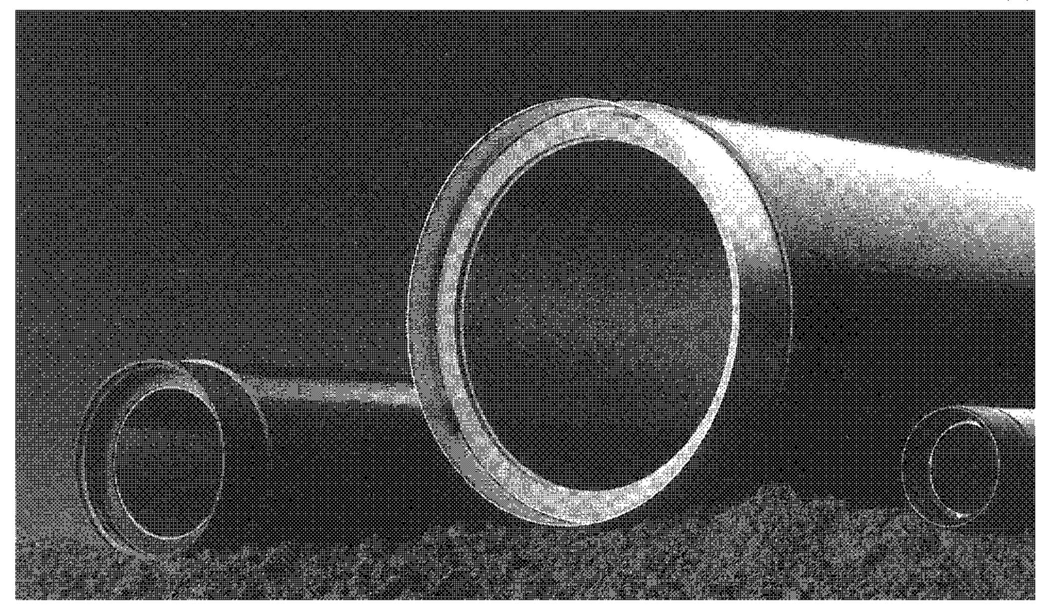


شكل (٢)

ماسور فيبرجلاس مغلفة بجسم خرساني مسلح

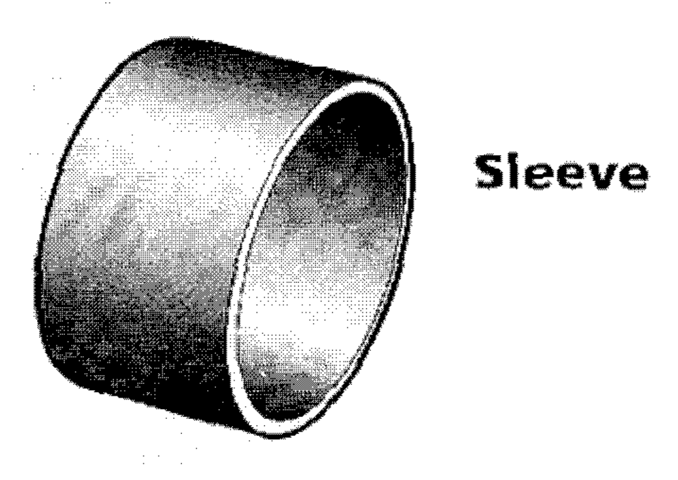
ب – المواسير الفخار :

شكل (٣)

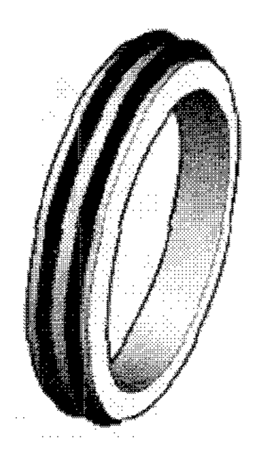


شكل (٣)

مواسير فخار مصنعة للدفع الهيدروليكي

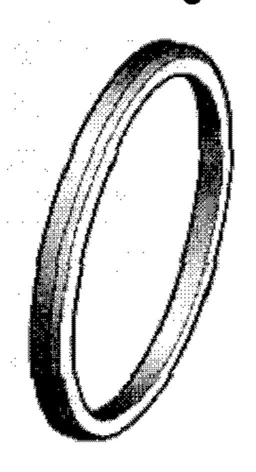


الطوق الخارجي من معدن ستينلس ستيل



Sealing Rings

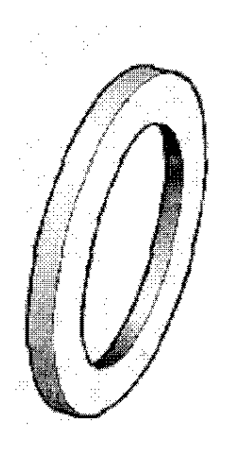
حلقة دائرية مانعة للمياه – مصنعة من المطاط



Filler Rings

حلقة مالئة – مصنعة من المطاط

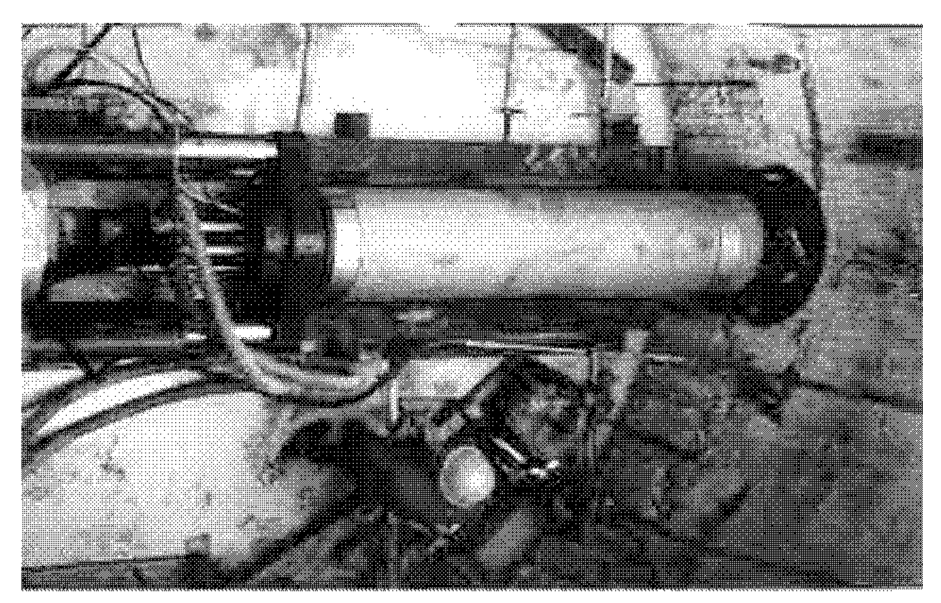
Joint Packing Ring



حلقة بين المواسير – لمنع تهشم حواف المواسير – مصنعة من الخشب

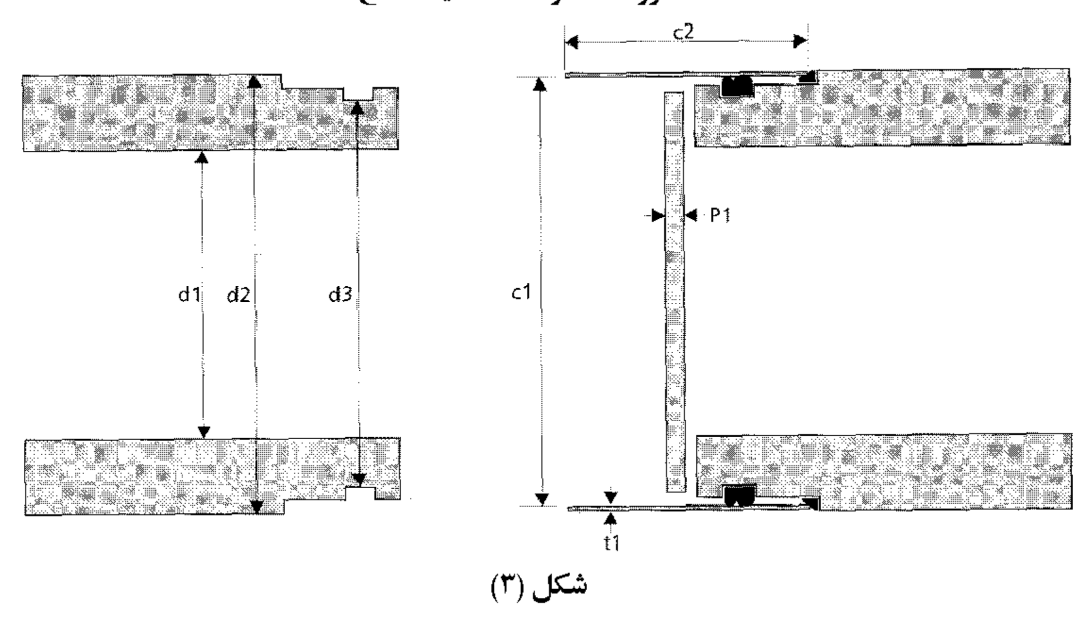
تفاصيل الوصلة بين المواسير الفخار

VITRIFIED CLAY JACKING PIPES



تابع شكل (٣)

الماسورة الفخار أثناء عملية الدفع



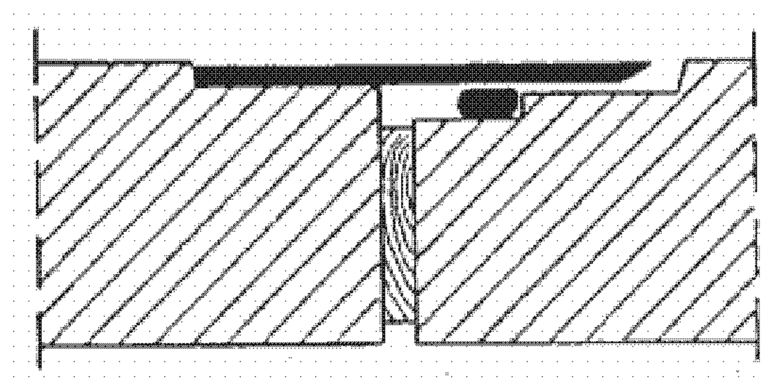
شكل (٣)

وصلة المواسير الفخار المستخدمة في الأنفاق –الطوق الخارجي من معدن ستيملس ستيل .

تصلح الوصلة لمواسير أقطار ٢٥٠ – ١٢٠٠ مم

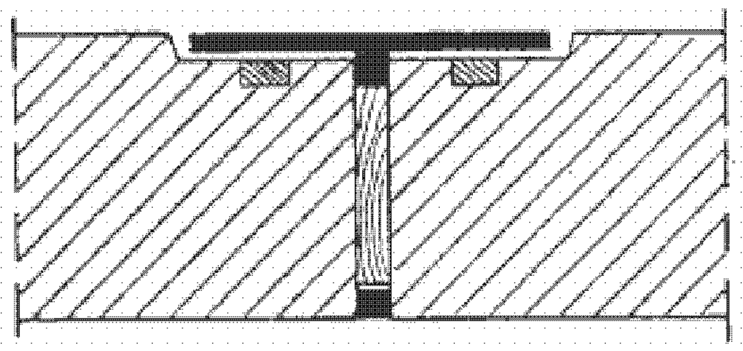
ج – وصلات المواسير الخرسانة :

شكل (٤) .

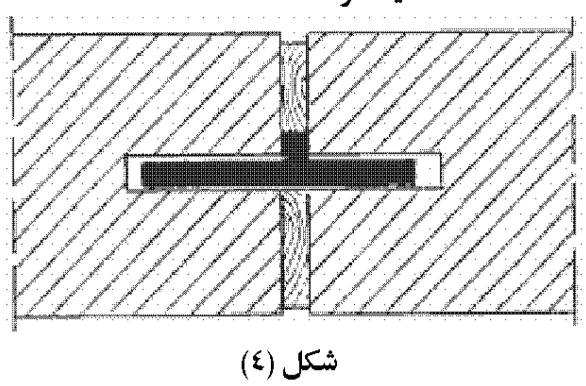


الحلقة المعدنية ثابتة في أحدي الماسورتين Steel collar integral with one pipe

(أكثر النظم المستخدمة في مصر)



loose steel collar حلقة معدنية حرة



شكل (٤)

حلقة مشتركة بين الماسورتين Dowelled joint

يمكن بهذه الطريقة أن ننفذ مواسير أنحدار أو ضغط . أقل مسافة بين الراسم العلوي للنفق وسطح الطريق ٢,٥ متر . يفضل ألا يقل قطر النفق عن ٢٥٠ مم . يمكن أستخدام نوعيات أخري من المواسير مثل المواسير الفخار والزهر المرن والخرسانة العادية والخرسانة المسلحة و المواسير الصلب .

الجدول رقم (١) ، يحدد الطول الأقتصادي لدفع المواسير الفخار – (المسافة بين غرفتي الدفع والأستقبال) .

جدول (١)

القطر مم	الطول الأقتصادي لدفع المواسير الفخار متر	أقصي طول لدفع المواسير الفخار متر
٢٥٠	٦٠ – ٨٠	١٢٠
٣٠٠	٦٠ – ٩٠	١٢٥
٤٠٠	٧٠ – ١٠٠	١٣٠
٥٠٠		١٤٠
٦٠٠		١٥٠
٧٠٠	٨٠ – ١٢٠	١٦٠
٨٠٠		١٧٠
١٠٠٠		١٦٠

لا يتم تخفيض منسوب المياه الأرضية أو أستخدام الهواء المضغوط أو تجميد التربة لمقاومة رشح المياه .

٢ – غرف الدفع و الأستقبال :

تنفذ هذه الغرفة في أماكن المطابق للأقتصاد في التكاليف حيث يتم تحويل الغرفة بعد أنتهاء الأعمال الي مطبق . مقاس الغرفة حوالي ٤ × ٦ (داخلي) من الخرسانة المسلحة ، منسوب أرضية الغرفة أوطي من منسوب الراسم السفلي للماسورة (Invert Level) بمقدار ٥٠ سم – شكل (٥) . يمكن أن تنشأ الغرفة من الستائر المعدنية مع عمل حائط أرتكاز خلفي لمقاومة رد فعل الروافع .

غرفة الأستقبال بمقاس حوالي ٢ × ٤ (داخلي) تتحول الي مطبق بعد نهو الأعمال أو تكون من الستائر المعدنية أو الشدات الخشبية أو الحلقات الخرسانية الجاهزة حسب الحالة وتكون أبعادها ملائمة لخروج الدرع والحفارة منها بسهولة .

الجدول (٢) يحدد مقاسات غرفة الدفع والأستقبال بالنسبة لطرازا ت معدات الحفر وكذلك للأقطار المختلفة .

جدول (٢)

طراز المعدة	القطر مم	قطر غرفة الدفع متر	قطر غرفة الأستقبال متر	طول الماسورة متر
AVN ٢٥٠	٣٦٨-٤١٥	٣	٢,٥	٢,٠٠
AVN ٣٠٠	٤١٥-٥٦٥			
AVN ٤٠٠	٥٦٥-٦٦٥			
AVN ٥٠٠	٦٦٥-٧٦٠			
AVN ٦٠٠	٧٦٠-٨٦٥	٣-٣,٠٥		
AVN ٧٠٠	٨٦٥-٩٧٥	٣,٠٥-٣,٢		
AVN ٨٠٠B	٩٧٥-١١١٠	٤,٢٧	٣,٠٥	٢,٥
AVN ٨٠٠	١١١٠-١٢٨٠	٤,٥-٣,٥		٣,٠٠
AVN ١٠٠٠	١٢٠٠-١٤٥٠			
AVN ١٢٠٠	١٤٥٠-١٨٣٠	٤,٥٧	٣,٦	

توضع حلقة من المطاط في حائط الغرفة في مدخل الماسورة لمنع خروج المياه من حول الدرع الأمامي .
توضع أيضا حلقة ممثلة في غرفه الأستقبال (في حالة وجود مياه رشح) ولا لزوم لها في حالة عدم وجود المياه .
لا تزيد المسافة بين غرفتي الدفع والأستقبال عن ١٠٠ متر .

تنفيذ غرفة البداية بنظام الحلقات الخرسانية سابقة الصب :

يعتبر هذا النظام عمليا لحد بعيد حيث :

١ – الأقتصاد في الوقت التكاليف .

٢ – السهولة في التنفيذ .

٣ – يمكن بهذا النظام الوصول لأعماق كبيرة حسب مناسيب التصميم .

طريقة التنفيذ :

١ – الحفر في المكان المحدد لعمق لا يقل عن ١ متر وبالأتساع المطلوب ، علي أن يكون منسوب الحفر أعلي من المياه الجوفية . يتم تنزيل سكينة القطع **Cutting Edge** (وهي من الخرسانة المسلحة الجاهزة) .

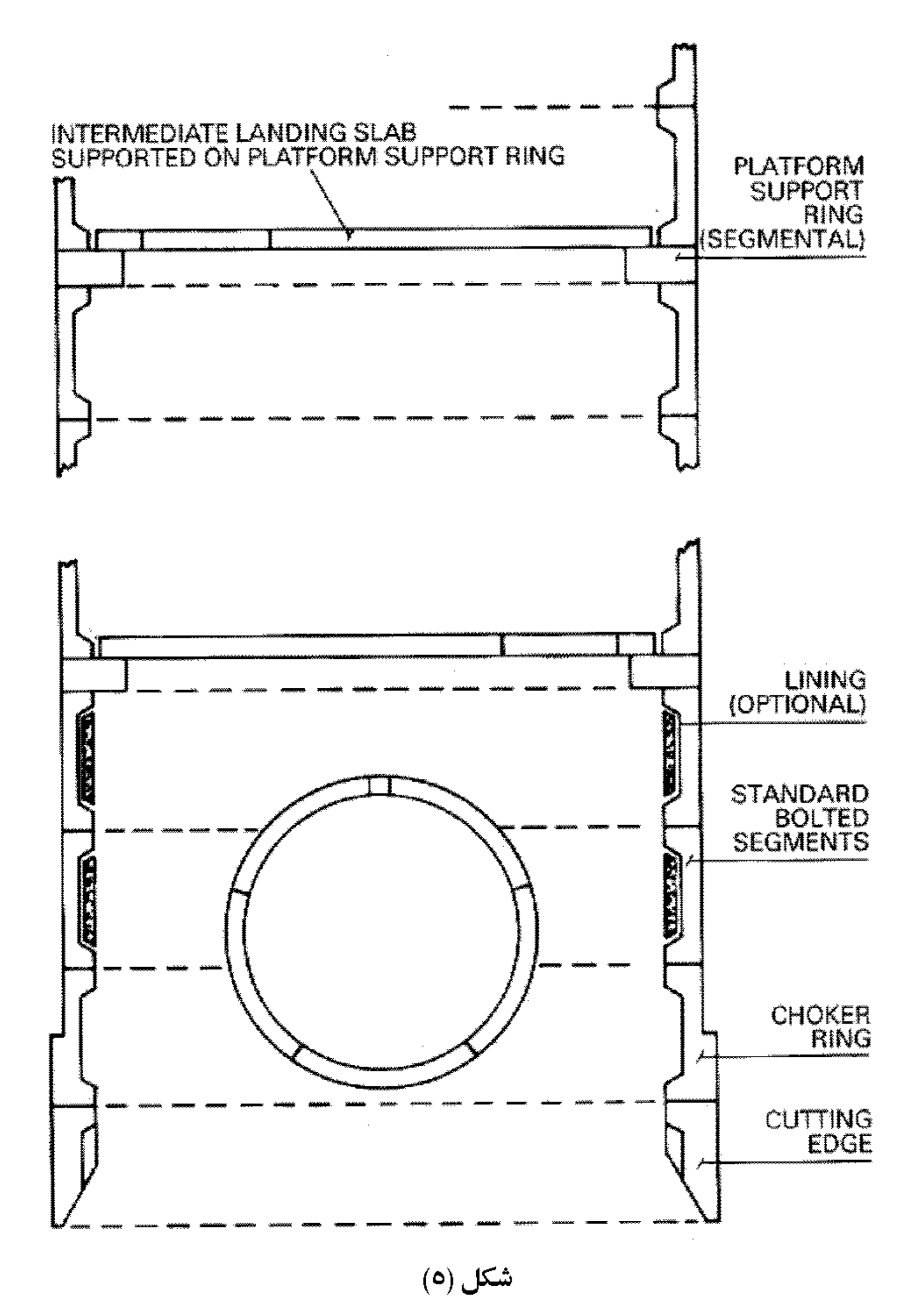
٢ – يتم بناء ٢ حلقة خرسانية سابقة الصب ورباطها بالمسامير .

٣ – يتم بناء حائط ساند يحيط بموقع النفق .

٤ – نستخدم حفار كباش للحفر ، عند تعميق الحفر قد تميل البيارة في أتجاه ما ، يتم وضع أثقال في الجهة العالية لضبط أفقية البيارة .

٥ – تضاف كميات من المياه داخل البيارة لمعادلة منسوب المياه داخل وخارج البيارة لمنع أي فوارات أو حركة في التربة .

٦ – عند الوصول الي المنسوب ، يتم صب خرسانة عادية **Plug** تحت منسوب الماء . تصب هذه الخرسانة لمقاومة قوي رقع المياه **Up Lift** يشكل كاف . تكون الأثقال متواجدة فوق سطح البيارة أثناء الصب .



شكل (٥)

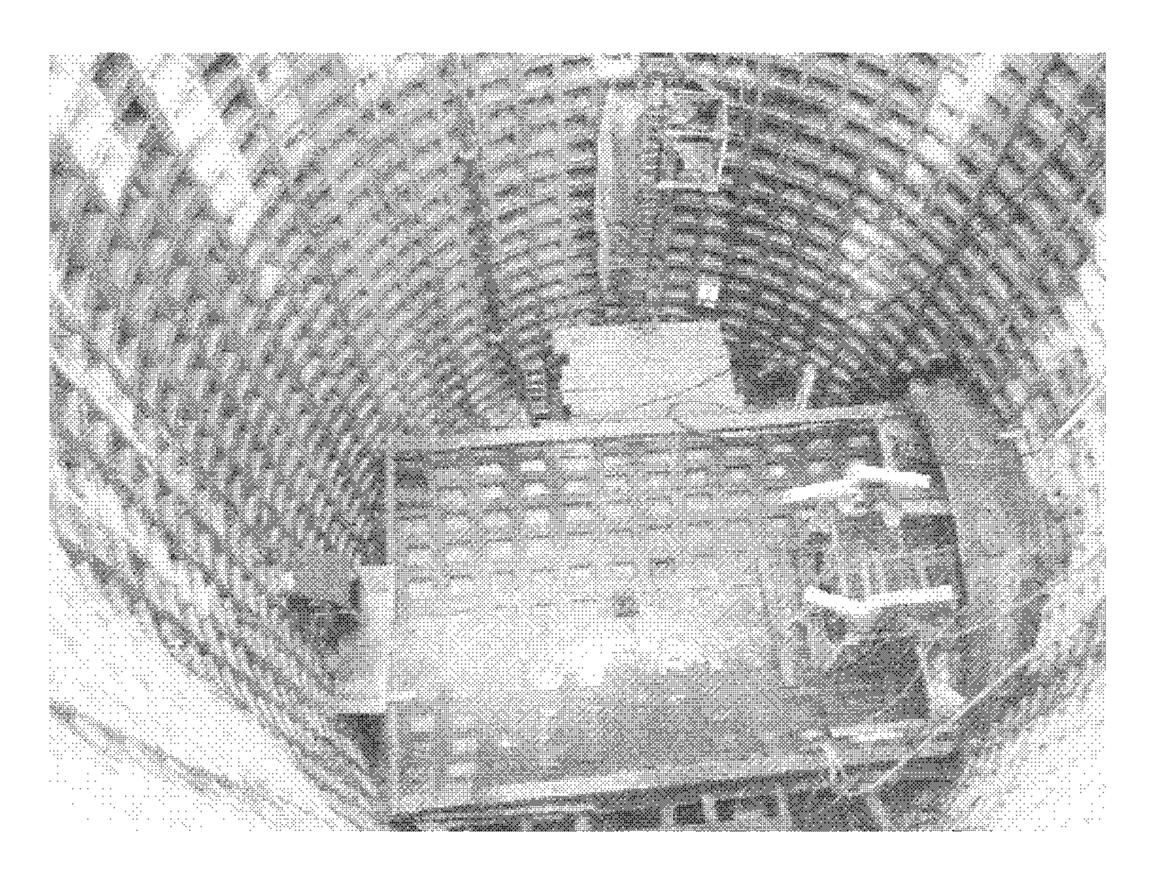
بيارة الدفع – منفذة من الحلقات الخرسانية سابقة الصب

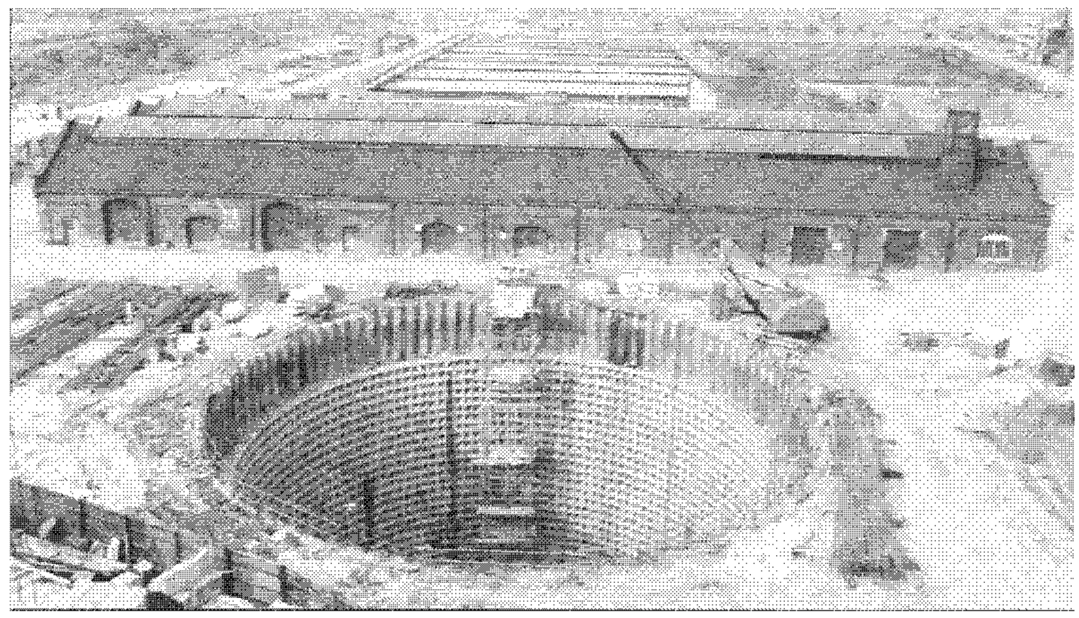
٧ – عند وصول الخرسانة العادية المصبوبة الي القوة المطلوبة ، يتم رفع الأثقال من علي حوائط البيارة .

٨ – يتم سحب الماء من داخل البيارة وأجراء عملية الحقن للخرسانة العدية لمنع الرشح داخل البيارة .

٩ – قد يستلزم الأمر عمل حقن للحلقات الخرسانية سابقة الصب (الحوائط) .

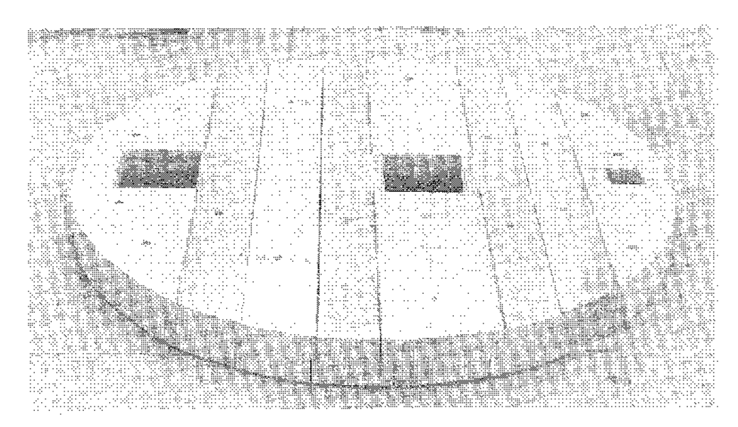
٩ – عند تركيب الحلقات الخرسانية في البيارة ، تحدد الحلقات التي سيخترقها ماكينة الحفر والدرغ وتسليحها بالفيبرجلاس حتي تتمكن الحفارة من أختراقها . يمكن تصنيع سقف البيارة بأجزاء خرسانية سابقة الصب .

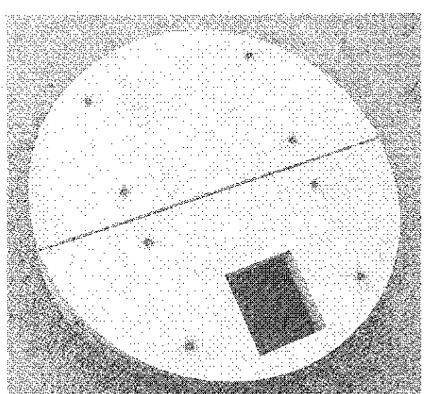




تابع شكل (٥)

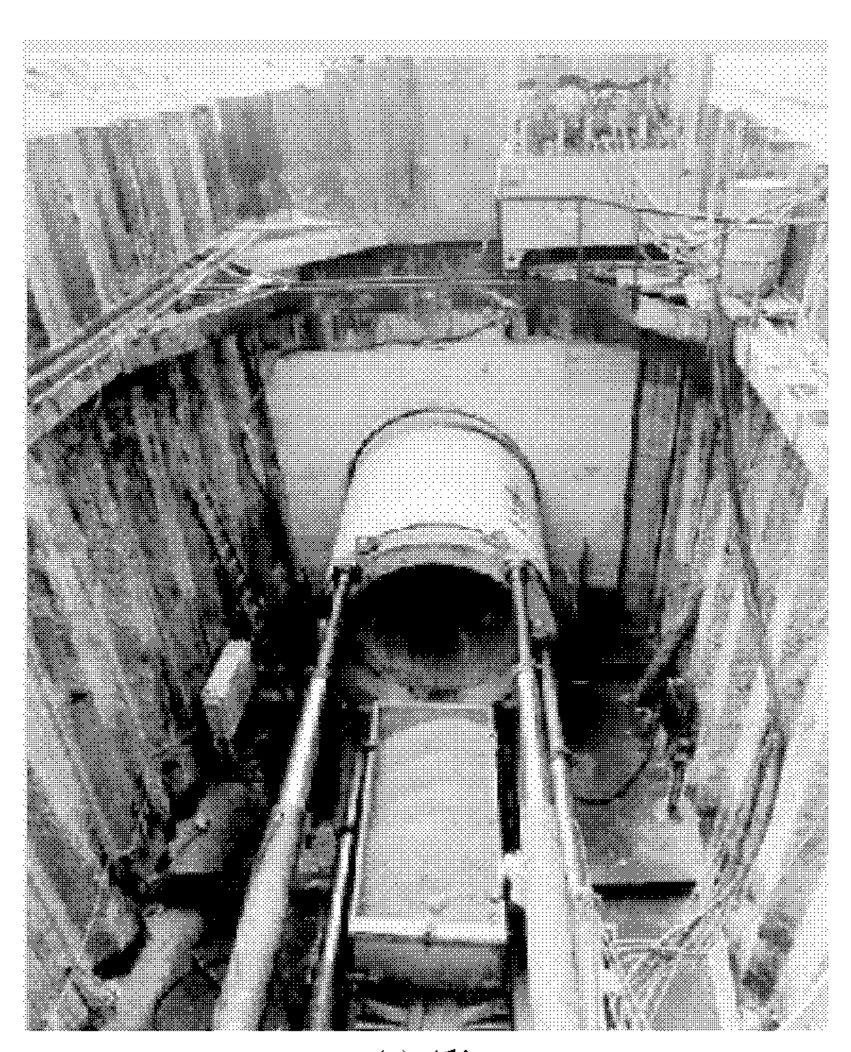
البيارة منفذة بالقطع الخرسانية الجاهزة





شكل (٥)

سقف البيارة – خرسانات سابقة الصب



شكل (٥)

غرفة الدفع أثناء العمل – الغرفة منفذة باستخدام الستائر المعدنية

٣ – المعدة :

المعدة قادرة علي العمل في جميع أنواع التربة والطبقات الصخرية . تتكون المعده من العناصر التالية :

أ – الدرع :

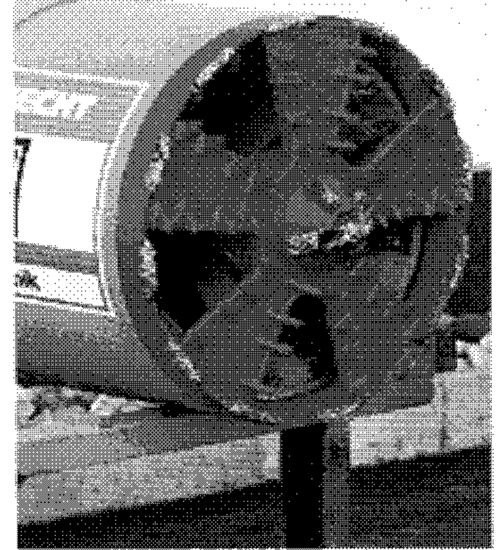
يكون من الصلب وقطره = القطر الخارجي للماسورة + ٥ سم . داخل الدرع ومن الأمام توجد الحفارة ، وهي عبارة عن مروحة دوارة مزودة بأسنان قاطعة قوية لتفتيت التربة أو الصخور . الحفارة مزودة بروافع هيدروليكية Steering Jacks لضبط وتصحيح المسار و الأتجاه أثناء العمل . يتصل عند مقدمة الحفاره ماسورة لضخ المياه تحت ضغط عالي للخلط مع حبيبات التربة وتكوين الروبة Slurry . يتصل أيضا عند مقدمة الحفارة ماسورة أخري مع طلمبة الروبة لشفطها الي خارج النفق ثم تصب في حوض ترسيب علي سطح الأرض لترسيب مواد التربة الي أسفل الحوض بينما يتم ضخ المياه من أعلي الحوض الي مقدمة الحفارة مرة أخري – شكل (٦) .

Cutting head assembly - type AVT

AUGER MATERIAL REMOVAL (AVT)

Pipe Inside Diameter		Machine Outside Diameter
AVT	250	363-565 mm
AVT	400*	565-665 mm
AVT	500*	665-785 mm
AVT	600*	760-865 mm

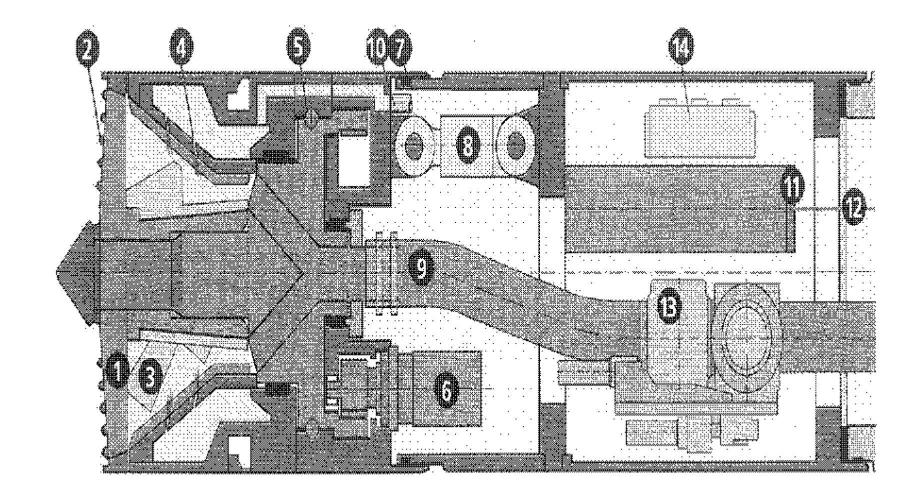
* With independant direct drive to cutting wheel. AVT 250 cutting wheel driven by auger



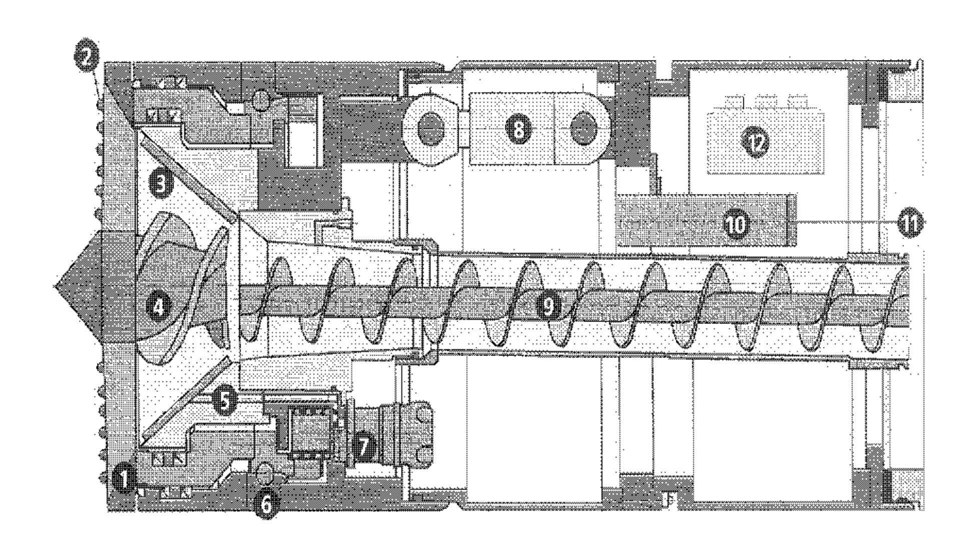
Cutting head assembly - type AVN

SLURRY MATERIAL REMOVAL (AVN)

Pipe Inside Diameter		Machine Outside Diameter
AVN	250	368 - 415 mm
AVN	300	415 - 565 mm
AVN	400	565 - 665 mm
AVN	500	665 - 760 mm
AVN	600	760 - 865 mm
AVN	700	865 - 975 mm
AVN	800 B	975 - 1110 mm
AVN	800	1110 - 1285 mm
AVN	1000	1285 - 1450 mm
AVN	1200	1450 - 1830 mm
AVN	1500	1830 - 1960 mm



1 *Cutter head*
2 *Hard-faced picks*
3 *Crusher area*
4 *Feed injection nozzles*
5 *Main bearing*
6 *Main drive*
7 *Articulation seal*
8 *Steer cylinder*
9 *Discharge line*
10 *Feed line*
11 *Target*
12 *Laser beam*
13 *Bypass*
14 *Valve block*



شكل (٦)

أشكال الحفارات والدروع – تظهر مكونات الحفارة والدرع

يتم وضع جهاز أشعة الليزر في مكان آمن في غرفة الدفع بينما تكون لوحة الهدف مركبة علي الحفارة . يراقب لوحة الهدف و شعاع الليزر كاميرا تليفزيونية مركبة داخل الدرع الأمامي لنقل الصورة الي شاشة جهاز مونيتور أمام عامل التشغيل عند سطح الأرض (داخل غرفة التشغيل) . في حالة حدوث أي أنحراف في المسار (الأفقي أو الميل) ، يتم التصحيح بواسطة عامل التشغيل بتشغيل الروافع المساعدة في الدرع ليعود المسار الي سابق وضعه .

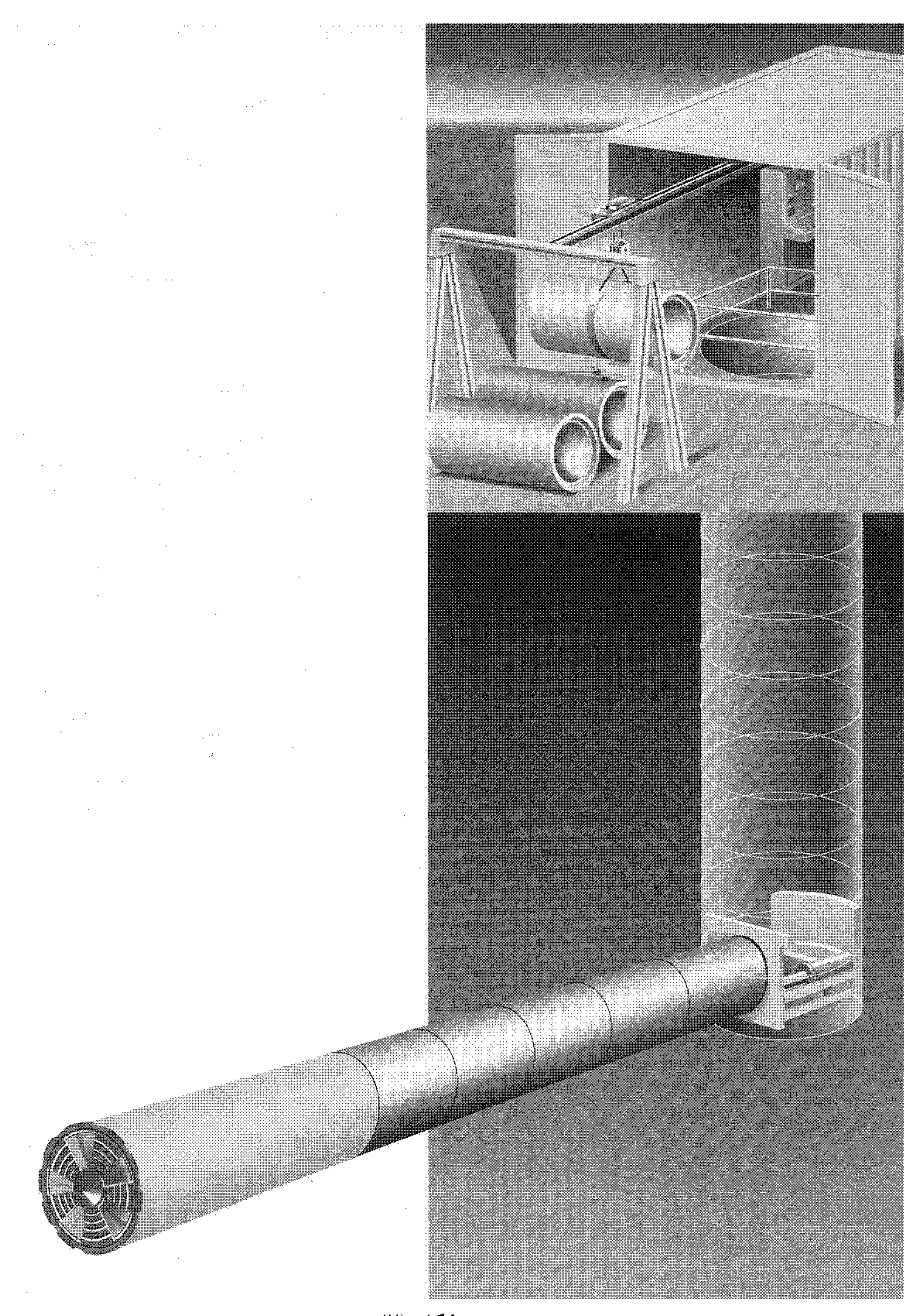
عناصر النفق كاملا – شكل (٧) .

<u>ب – محطة الدفع الرئيسية :</u>

تكون من عدة روافع ، قدرتها كافيه لدفع المواسير بكامل طول النفق والتغلب علي قوي الأحتكاك مع التربة . أقصي أنفراج لها = ٣,٢ متر . ترتكز هذه الروافع علي حائط أرتكاز قوي مصمم علي مقاومة رد فعل الروافع . تدفع الروافع الماسورة عن طريق حلقة دائرية من الصلب Diaphragm Ring ترتكز علي بدن الماسورة وتوزع قوي الروافع علي محيط الماسورة.

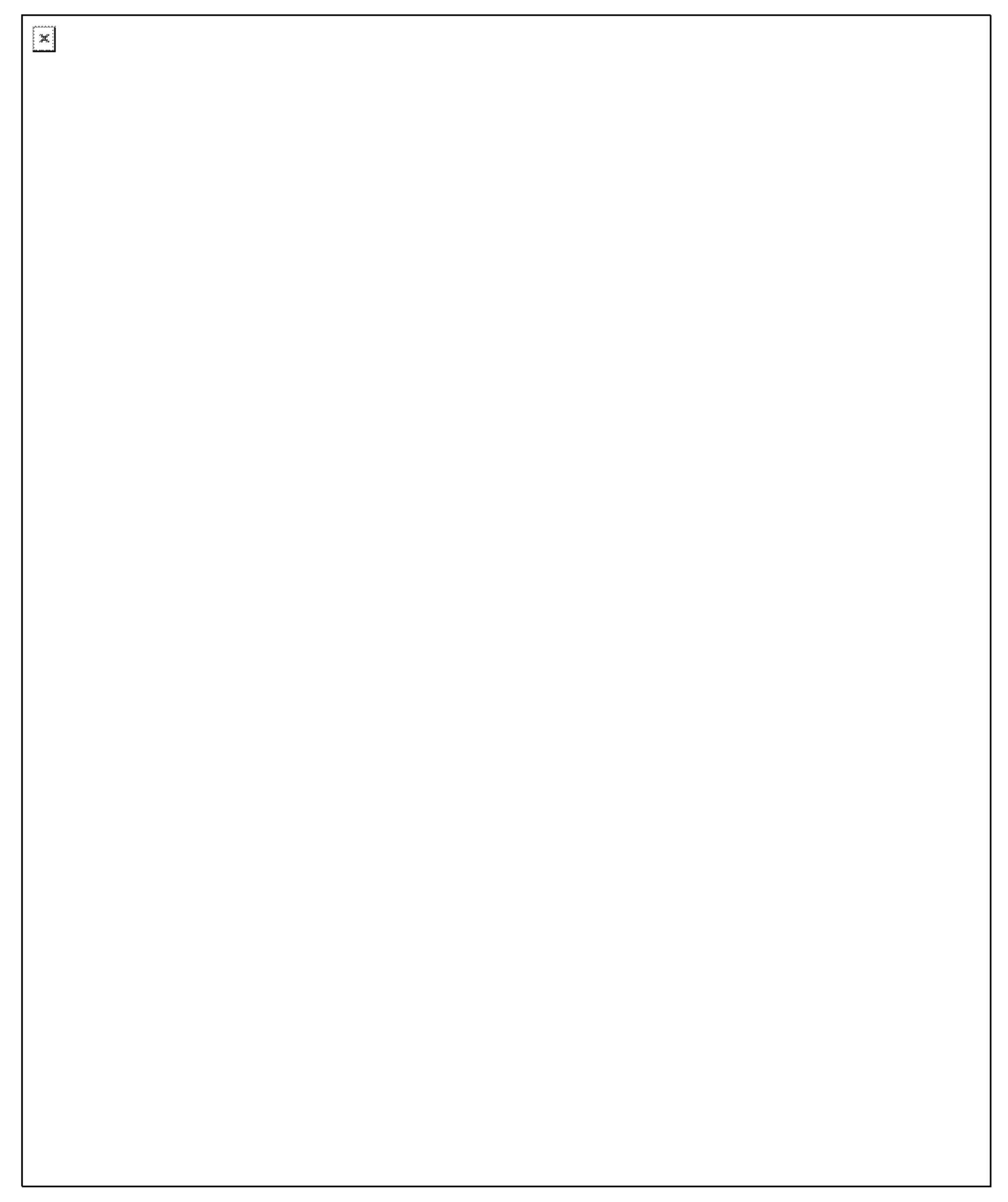
<u>ج – وحدة التشغيل Control Panel :</u>

تكون في غرفة فوق الأرض وبها مفاتيح التشغيل والتحكم ، وكذلك الشاشة التليفزيونية التي يتم من خلالها مراقبة خطوات التشغيل داخل النفق .



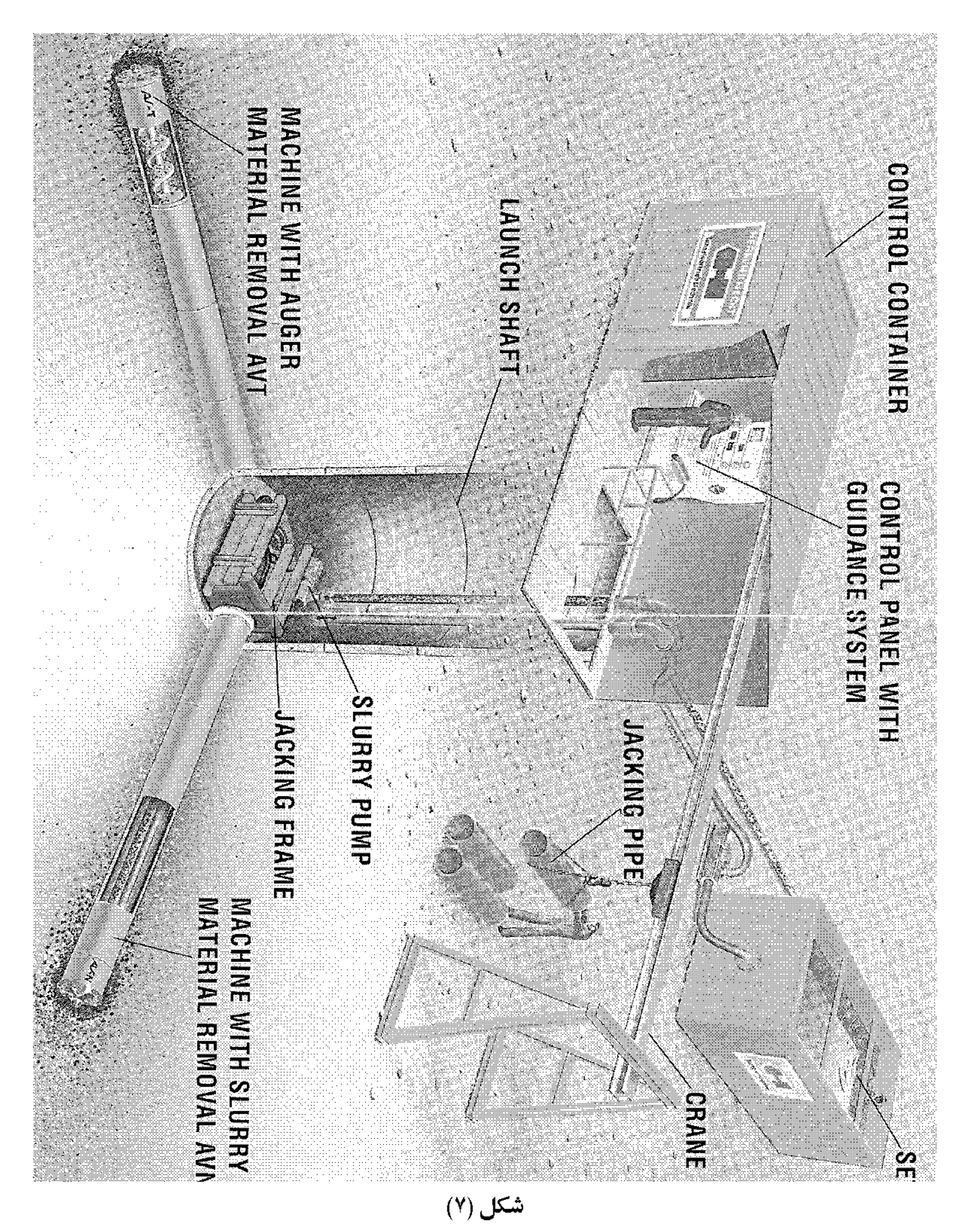
شكل (٧)

نظام تشغيل كافة معدات الأنفاق الصغيرة – تدار عملية تنفيذ من حاوية



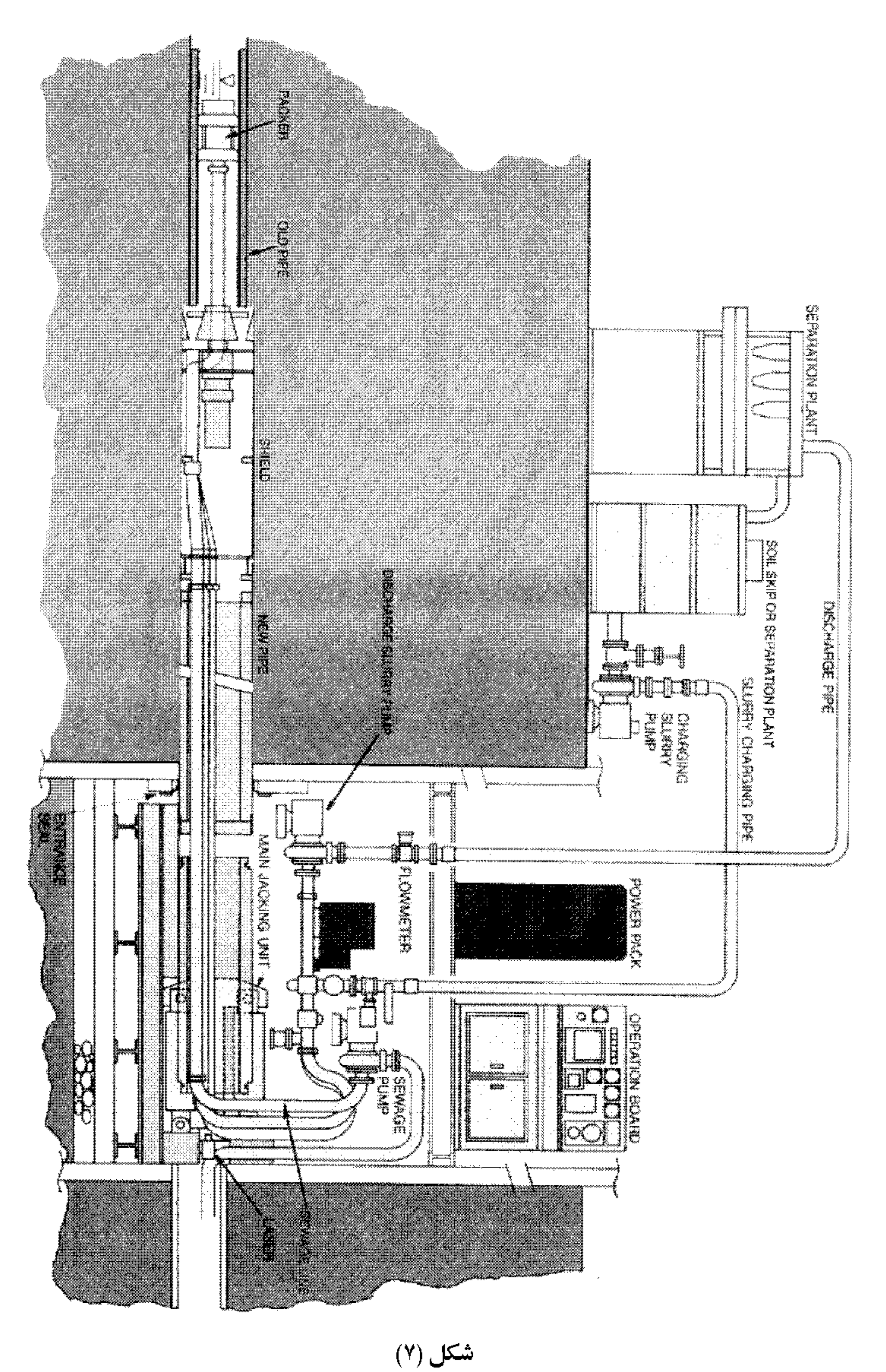
شكل (٧)

طرازات الماكينات (الحفارات والدروع) العاملة في مجال الأنفاق الصغيرة – ماكينات AVN تنفذ أنفاقا بقطر ٢٥٠ – ١٨٠٠ مم والطراز الآخر AVT ينفذ أنفاقا من ٢٥٠ – ٨٠٠ مم



شكل (٧)

المعدة مضغوطة الحجم ، التوجيه من حاوية تقع مباشرة فوق غرفة البداية – حوض الترسيب علي هيئة حاوية



شكل (٧)

نظام الأنفاق الصغيرة كاملا بكافة عناصره – يظهر في أحد أستخداماته في تغيير ماسورة قديمة بأخري جديدة

٤ – الطاقة اللازمة لتشغيل المعدة :

يستخدم مولد كهربي لتشغيل المعدة وأمدادها بالطاقة المناسبة للعمل بجانب مصدر كهربائي آخر من المصدر الرئيسي (كهرباء المدينة) .

طريقة التنفيذ :

١ – تنشأ غرف الدفع و الأستقبال بالمقاسات المناسبة للروافع والماسورة . ينشأ أيضا حائط الأرتكاز الخرساني لأرتكاز الروافع الميكانيكية . ننزل معدات الدفع وتركيبها داخل الغرفه . يتم تثبيت جهاز الليزر في مكان آمن في مؤخره الغرفة مع ضبطه علي الأفقية و الميل المطلوبين .

٢ – ننزل الدرع الي داخل غرفة الدفع . يتم تشغيل الروافع لدفع الدرع الي أول مسار النفق ثم تنكمش الروافع مرة أخري .

٣ – توضع أول ماسورة ويركب ذيلها مع الدرع من الخلف . تدفع الماسوره والدرع الي الأمام حتي كامل أنفراج الروافع والذي يبلغ ٣,٢ متر .

٤ – نبدأ في تجهيز الماسورة التالية ، يوضع حلقه خشبية من ألواح (ويزافورم) بين الماسورتين بسمك ١٨ مم مع لصقها وتثبيتها Packing . تعمل هذه الحلقة مثل وصلة قابلة للأنضغاط بين كل ماسورتين متتاليتين لحماية الملسورتن من تهشم البدن ، ويتم عزلها من الخارج بمواد عزل بيتومينية .

٥ – باستمرار دفع المواسير وقيام الحفارة بالعمل ، يتم ضخ المياه الي مقدمة الحفارة لتختلط بمواد التربة وتروبها . يوجد أيضا طلمبة تضخ المياه تحت ضغط ٣٠٠ ض . ج Jet pump ، تقوم أيضا بتفتيت التربة وتحويلها الي قطع صغيرة يسهل خلطها بالمياه .

تقوم ماسوره أخري وطلمبة شفط الروبه بشفط الروبة (تربة مخلوطة بالمياه) من أمام الدرع الي خارج النفق الي حوض ترسيب علي سطح الأرض . تترسب الحبيبات الي أسفل الحوض بينما تسحب المياه من أعلي الحوض ليتم ضخها مره أخري داخل النفق .

معدلات الدفع :

ترجع معدلات الدفع الي نوع الـــتربة وطول النفق . تكون هذه المعدلات في حدود ٢٠ م . ط / الوردية في حالة التربة الرملية أو الصخور الضعيفة.

يمكن دفع المواسير الي مسافة ٣٠٠ م . ط كحد أقصي .

الدقة :

تبلغ دقه العمل الي ٣٠ مم في الأفقية أو المنسوب . يفضل دفع المواسير من أسفل الي أعلي حتي لا ينتج هبوط في سطح الأرض نتيجه أنشاء النفق .

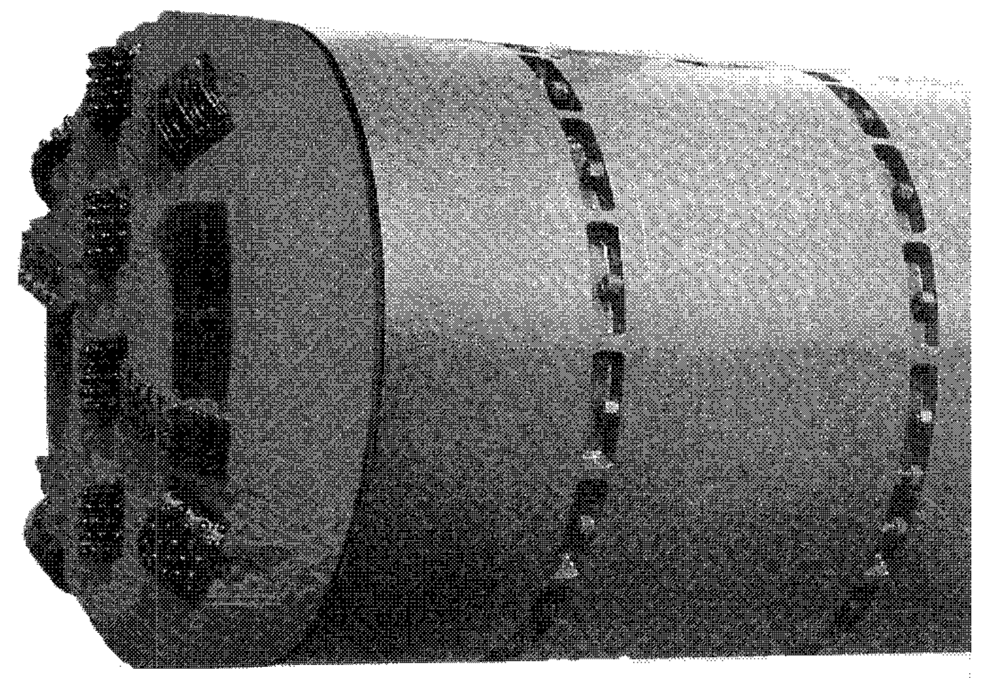
<u>أنشاء الأنفاق الصغيرة في الصخور:</u>

صمت هذه المعدة للأنفاق الصخرية ولها القدرة علي أختراق الصخور الشديدة بواسطة الألواح القاطعة والعجلات المركبة علي مقدمة المعدة . وهي مجهزة للحفر في الصخر قوة ٧٠ – ٢٠٠ نيوتن / مم٢ . هذا المدي يغطي كافة أنواع الصخور التي يمكن أن نواجهها أثناء العمل . والمعدة لها مقدمة مخروطية تساعدها علي تكسير و أختراق الصخور وكذلك لها فتحات كبيرة كافية في المقدمة لأستيعاب الأحجار والصخور المتكسرة (مقاس من ١٨٠ مم – ٣٠٠ مم) . تعمل المعدة في حالة وجود مياه أرضية من عدمه – شكل (٨).

أقل عمق للعمل = ٢ متر .

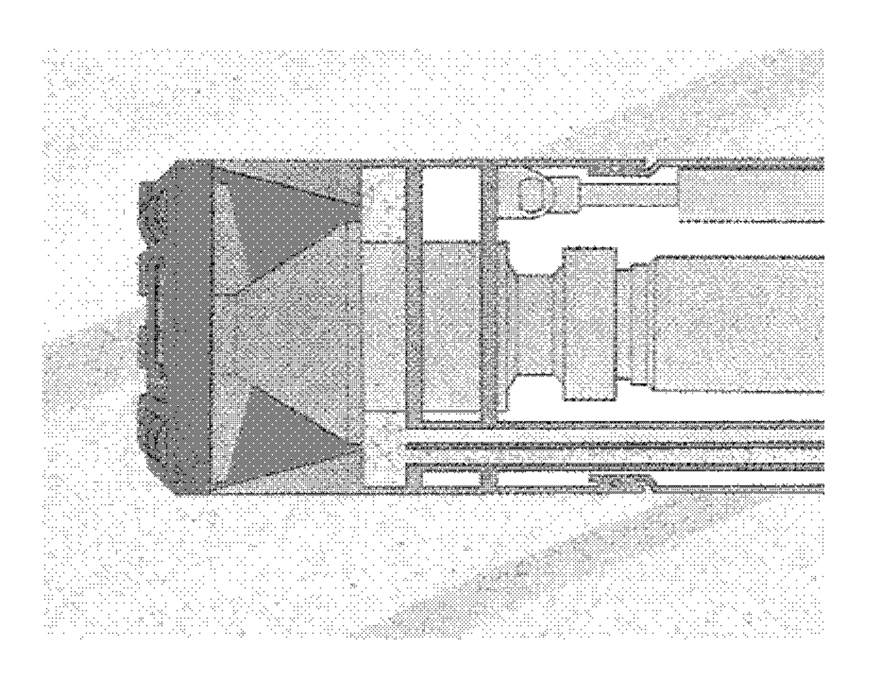
أقصي عمق = ٣٠ متر .

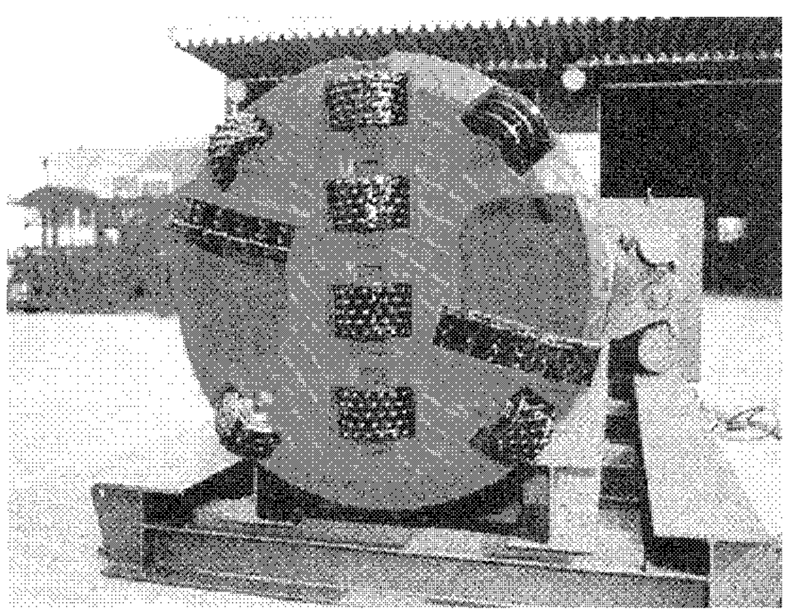
أقصي أرتفاع للمياه الأرضية = ٣٠ متر .



شكل (٨)

معدة أختراق التربة الشديدة التماسك و الصخور



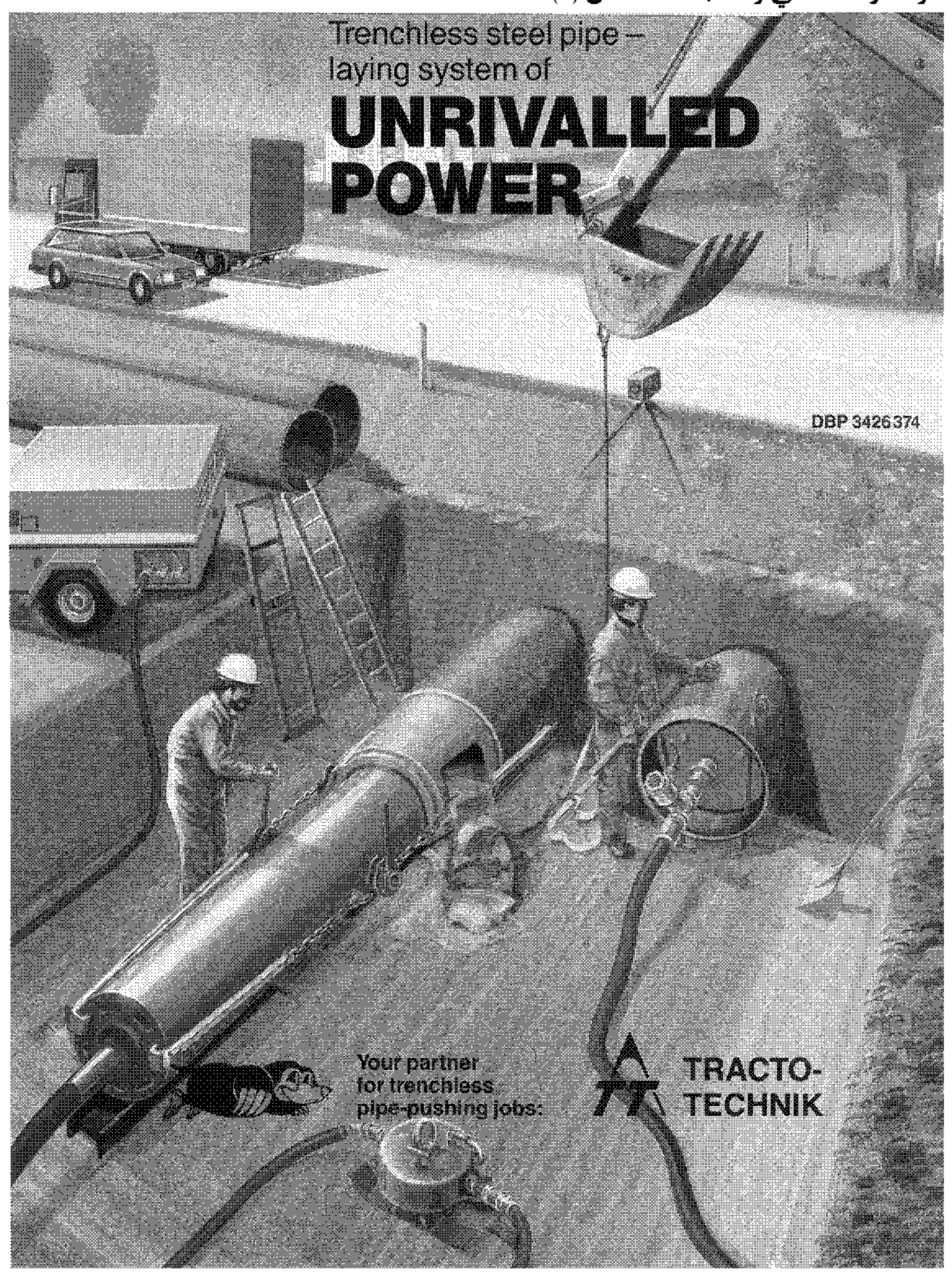


تابع شكل (٨)

معدة العمل في التربة الشديدة التماسك أو الصخر

<u>أنشاء الأنفاق بطريقة الطرق الهوائي :</u>

يستخدم هذا النوع من معدات الأنفاق لتعديه السكك الحديدية و الطرق و كفواريغ Sleeve لخطوط الغاز و المياه و الصرف الصحي و الكابلات – شكل (٩) .



شكل (٩)

مخططط يبين طريقة عمل الشاكوش

تتلخص الطريقة في دفع ماسورة حديدية بشاكوش يعمل بضغط الهواء في الأتجاه الأفقي و بالميل المطلوب .

و ينصح باستخدام النفق كفواريغ فقط حيث أنه من المتوقع تآكل الماسورة بفعل الصدأ أو مياه الصرف الصحي بالأضافة الي ضرورة حقن الفراغ بين جسم الفاروغ و الماسورة الأصلية بمونة الأسمنت و الرمل .
و أقصي قطر أمكن الوصول اليه باستخدام هذه التقنية قطر٢٠٠٠ مم و الأطوال في حدود ٦٠ م . ط تبعا لقطر النفق

وصف الماسورة :

تصنع الماسورة من الصلب ويكون سمك البدن حسب الجدول التالي :

قطر الماسورة (مم)	سمك بدن الماسورة (مم)	
	طول النفق حتي ٢٠ متر	طول النفق حتي ٣٠ متر
١٥٠	٦,٣	٧,١
٢٠٠		
٢٥٠		
٣٠٠		
٤٠٠	٧,١	٨
٥٠٠	٨	١٠
٦٠٠	٨,٨	
٧٠٠	١٠	
٨٠٠		
٩٠٠	١٢	١٢
١٠٠٠		
١٢٠٠	١٥	١٥
١٣٠٠	١٦	١٦
١٤٠٠	١٨	١٨

مكونات الشاكوش :

يتكون الشاكوش من خمسة أجزاء رئيسية :

١ – جسم الشاكوش: **Body**

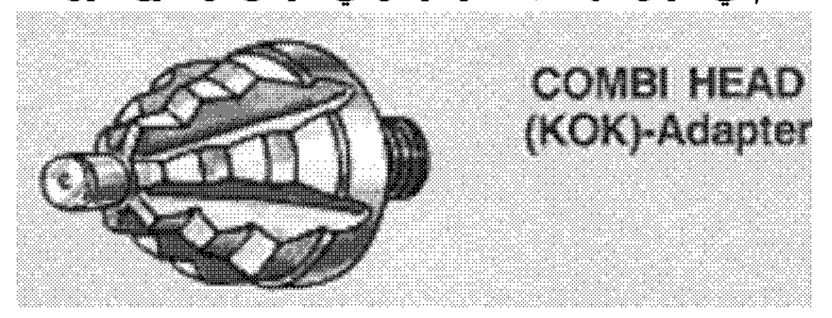
٢ – رأس الشاكوش**Head Adaptor** : و هي نوعان :

النوع الأول : يستخدم في الأرض المدموكة و المتجانسة و الأرض الرملية و هو علي شكل مخروط – شكل (١٠) .

شكل (١٠)

النوع الأول من رأس الشاكوش

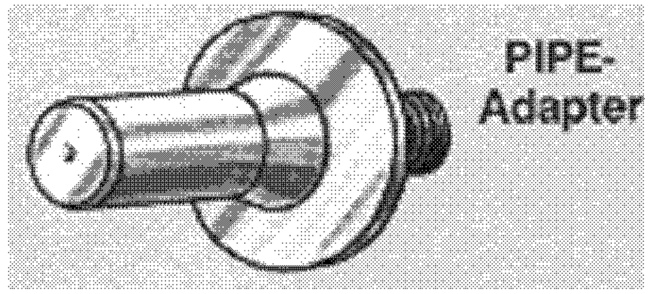
النوع الثاني : يسـتخدم في الأرض غير المتجانسة و هو أقل في الأرتفاع من النوع الأول – شـكل (١١) .



شكل (١١)

النوع الثاني من رأس الشاكوش

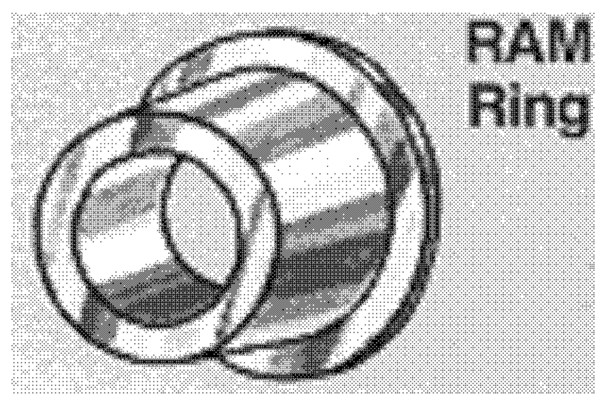
توجد مهمات أخري مثل الجزء الدافع للماسورة في حالة صغر قطر الماسورة عن قطر الشاكوش – شكل (١٢) .



شكل (١٢)

دافع الماسورة – قطر الماسورة أقل من قطر الشاكوش

الجزء الآخر يستخدم للمواسير الأكبر من قطر الشاكوش – شكل (١٣)



شكل (١٣)
دافع الماسورة – قطر الماسورة أكبر من قطر الشاكوش

٣ – مكبس التحكم Control Piston : و يتحكم في دخول الهواء المضغوط و عكس حركه الشاكوش .
٤ – المكبس الرئيسي Main Piston : و هو مكبس الدفع الرئيسي للشاكوش .
٥ – غطاء نهاية الشاكوش End Cap : يتصل بقاعده الشاكوش كما يتصل به حبل الشد .

نظرية العمل Function :

المعده عبارة عن شاكوش يعمل بالهواء المضغوط عند ضغط ٦ – ٧ ض .ج حيث يقوم الهواء المضغوط بتحريك و دفع المكبس الرئيسي للأمام و بالتالي دفع الشاكوش الي داخل الأرض . يستخدم ضاغط هواء مناسب لأنتاج الهواء المطلوب و الضغط المطلوب .
و عند أستخدام ضغط أقل – يحدث فقد في قدرة الشاكوش – فمثلا عند أستخدام ضغط ٥ ض . ج يصل الفقد في قدرة الشاكوش الي ٥٠٪ – أيضا في حالة زيادة الضغط عما ذكر ، فأنه يتسبب في تلف الشاكوش.

طبيعة التربة :

يصلح هذا النوع في حالة أن قطر جزيئات التربة أكبر من ١٠/١ مم كما لا يستخدم في حالة التربة الصخرية . و يعتمد معدل أختراق التربة علي طبيعتها و كفاءة رأس الشاكوش . فمعدات الحفر مصممة علي أساس وجود أحتكاك بين جسم الشاكوش و حبيبات التربة . و في حالة الأرض الطينية أو المشبعة بالماء – فلا يتوفر الشرط السابق و لا يتوفر الأحتكاك و لهذا تستخدم طريقة الدفع الخلفي للماسورة Instant Pipe Pushing و ذلك بقيام الشاكوش بدفع الماسورة أمامه . تلاحظ النقاط التالية :
١ – أقل عمق للحفر يساوي ١٠ مرات قطر الشاكوش علي الأقل .
٢ – طول الحفر من ٥ – ٣٠ متر و يمكن زياده الطول مع خبره التشغيل و ملائمه ظروف الأرض .
٣ – في حالة دفع المواسير الصلب Pipe Ramming تكون طبيعة الأرض هي العامل المؤثر في مسافة الحفر – ففي الأرض الرملية يمكن أن تزيد مسافة الحفر عن ٥٠ متر .

أعداد الموقع :

تنشأ حفرة البداية بأبعاد مناسبة لطول الشاكوش + طول الماسورة المستخدمه + ١ متر و ذلك للسماح بعملية لحام الماسورة التالية و تركيب الشاكوش . يمكن حساب عرض الحفرة بحيث يسمح بالتنفيذ بسهولة و كذلك أختيار طريقة صلب جوانب الحفر و طريقه التخلص من مياه الرشح .

تنشأ حفره النهاية آخر النفق و تكون بطول يساوي طول الشاكوش +١ متر و بعرض كاف لأمكان فك المعدة بسهولة

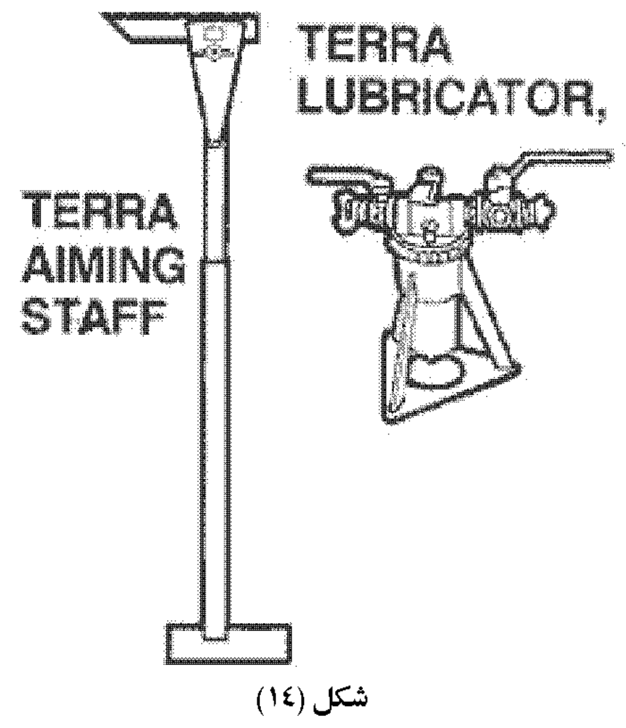
الأجهزه المساعدة :

١ – جهاز ضبط الأتجاه :

ووظيفته الضبط السليم لأتجاه و ميل الشاكوش و بالتالي خط المواسير– شكل (١٤) . و هو عبارة عن قائم معدني مثبت به تليسكوب في نهايته مع تدريج . يتم ضبط هذا التليسكوب في محور النفق و يضبط علي الميل المناسب . يتم أستقبال شعاع النظر في نهاية النفق بواسطه شاخص يكون علي محور النفق تماما.

٢ – المشحمة :

يوضع هذا الجهاز في موقع البداية – شكل (١٤) و قد تم تصميم صمام الدفع لضمان التشغيل و الأيقاف اللحظي للشاكوش . و يستخدم الصمام المنظم لضبط سرعة المكبس بالتحكم في كمية الهواء الداخلة الي الشاكوش . أما وظيفته الأساسية فهي أمداد الشاكوش بالكمية الصحيحة من الشحم لمنع التجمد في درجات الحراره المنخفضة.

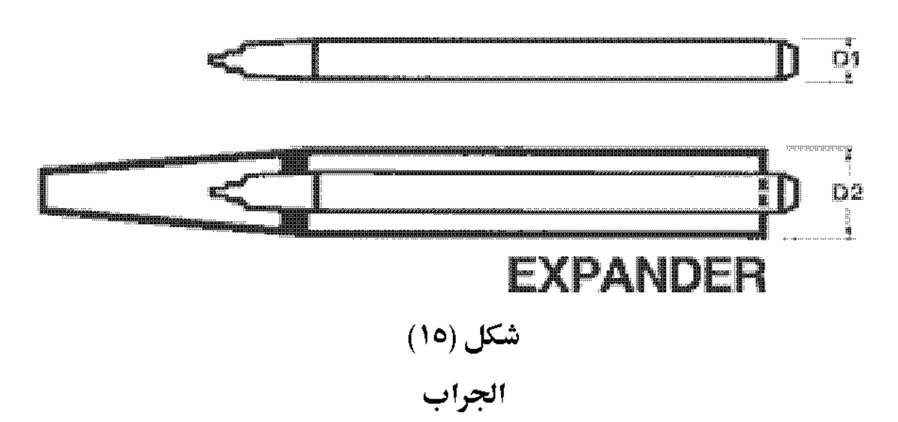


شكل (١٤)

جهاز ضبط الأتجاه والمشحمة

٣ - الجراب Expander :

يستخدم الجراب مع الشاكوش لزيادة قطر فتحة الحفرفي الطبقات المتماسكة. و يراعي عدم أستخدام هذا الجراب أذا كان معدل أختراق الشاكوش للأرض خلال الحفر الأصلي أكبر من ٤ متر/ساعه لأن السرعات الأقل دليل علي صلابه الأرض . يلاحظ أنه لا يمكن عكس حركة الشاكوش في حالة أستخدام الجراب المذكور حتي لا ينفصل الشاكوش و يترك الجراب داخل الأرض – شكل (١٥) .



شكل (١٥)

الجراب

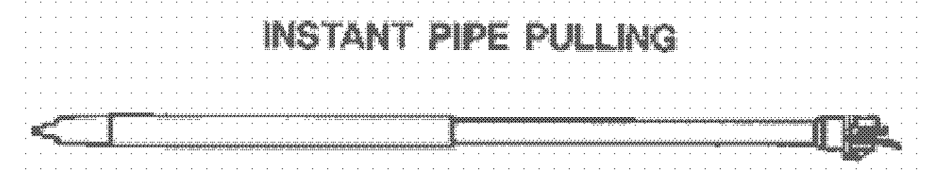
٤ - الجزء القاطع Cutting Shoe :

و هو جزء مخروطي الشكل – قطره الخارجي أكبر قليلا عن قطر الماسورة – يركب في مقدمة الماسورة لحمايتها أثناء الدق و هو مزود بماسورة حقن داخلية لدفع مواد الشحم علي بدن الماسورة الخارجية لتسهيل عملية الأختراق .

٥ – السحب اللحظي للمواسير Instant Pipe Pulling :

يمكن لهذا الشاكوش سحب المواسير البولي فينيل كلورايد في نفس وقت الحفر – و الشاكوش مجهز بحبل شد يمكن أدخاله بالماسورة و تثبيته في آخرها بقفل خاص . و بذلك يقوم الشاكوش بسحب الماسورة وراءه في الحفر .

بعد دخول الماسورة داخل الحفر – يتم أيقاف الشاكوش و فك حبل الشد و أطالته ثم يتم تركيب ماسورة و يتم رباطها بحبل الشد ليقوم الشاكوش بسحب الماسورتين و هكذا – شكل (١٦) . و يمكن أستخدام حبل شد خفيف في المواسير حتي قطر ٧٥ مم في حين يستخدم حبل أقوي للمواسير الأكبر .

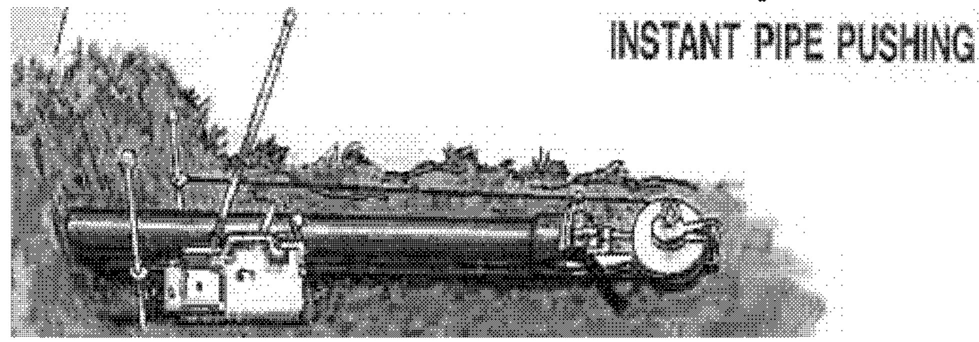


شكل (١٦)

السحب اللحظي للواسير

٦ – الدفع اللحظي للمواسير Instant Pipe Pushing :

يستخدم في الأنفاق الأطول من ١٥ متر و يزود برافعهTerror Winch – مربوطه بأوتاد قويه في الأرض لدفعه الي الأمام و المساعدة في عملية الأختراق – شكل (١٧) .



شكل (١٧)

الدفع اللحظي للمواسير

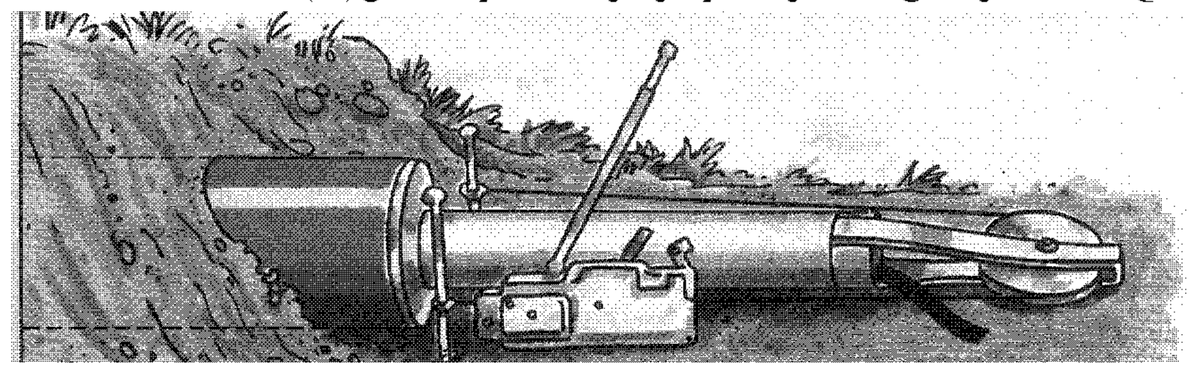
أنواع العمليات الرئيسية :

أ – الأختراق مع سحب المواسير Underground Pipe Piercing :

تتم هذه العملية باستخدام شاكوش أختراق التربة ويثبت خلفه خط المواسير المراد تمريره . يشترط أن تكون المواسير من خامة PVC أو بوليستر أو بولي إيثيلين بالأقطار التالية : ٤٠ ، ٦٠ ، ٧٥ ، ٩٠ ، ١٠٠ ، ١١٠ ، ١٢٥ ، ١٥٠ مم. أقصي طول يمكن تنفيذه بهذه الطريقة هو ٢٥ متر للمرة الواحدة وعلي عمق من سطح الأرض لا يقل عن عشرة أمثال قطر الشاكوش المستخدم .

ب – الدق و دفع المواسير الصلب Steel Pipe Ramming :

يركب الشاكوش علي أول ماسوره (الطول المناسب ٤ – ٦ متر) ، ثم يتم الضبط النهائي علي المحور و بالميل المطلوب(يمكن عمل دليل ثابت في غرفه الدفع عباره عن كمرتين متوازيتين حرف I) على المنسوب و الميل تماما لوضع الشاكوش و المواسير) بالأضافه الي ذلك يتم تركيب الرأس القاطع لتسهيل القطع و أختراق التربه أمام الماسوره ثم يبدأ الدفع . بعد نهو دفع الماسوره الأولي – يتم فك الشاكوش ثم تلحم الماسوره الثانيه علي أن يكون محورها متطابق تماما مع الماسوره الأولي و دون اي أنحراف . يتم تركيب الشاكوش علي الماسوره الثانيه و يقوم بالطرق و الدفع للماسورتين و هكذا . يمكن أزاله الأتربه من داخل المواسير بدفع الهواء أو بدفع الماء كما ذكر . تصلح هذه الطريقه للمواسير قطر ١٠ – ٣٢ بوصة – شكل (١٨) .



شكل (١٨)

دفع المواسير الصلب

ج – أزالة خط مواسير موجود مع أحلال خط جديد Pipe Bursting :

يستخدم في تجديد المواسير القديمة مثل المواسير الزهر أو الفخار بين مطقين والأحلال بمواسير جديدة . يمكن أن يكون الطول في المرة الواحدة ١٠٠ متر وبأقطار حتي ٤٠٠ مم . يتم في هذه العملية تمرير سلك من داخل الخط القديم الي الجهه الأخري ثم ربطه برافعه شد قويه . يركب الشاكوش أول الخط و يبدأ العمل . يقوم الشاكوش بتهشيم الخط القديم و سحب و أحلال المواسير الجديدة في نفس الوقت مع قيام الرافعه بالشد أثناء عمل الشاكوش – شكل (١٩) .



شكل (١٩)

أزالة الط القديم مع أحلال ماسورة جديدة

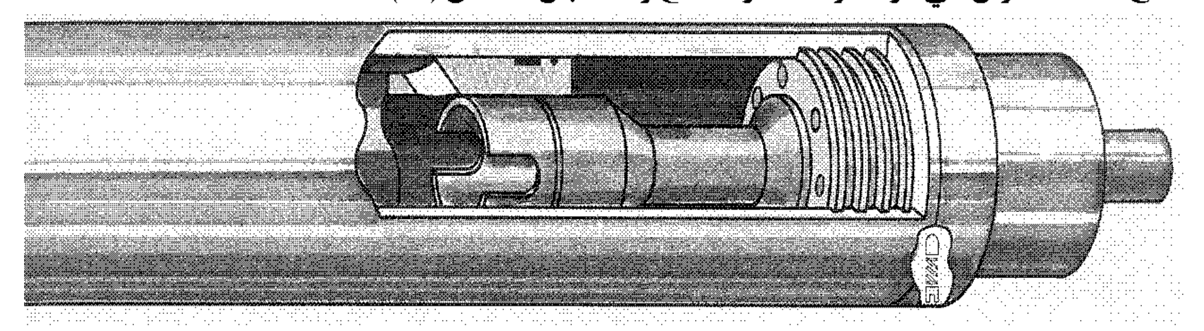


شكل (١٩)

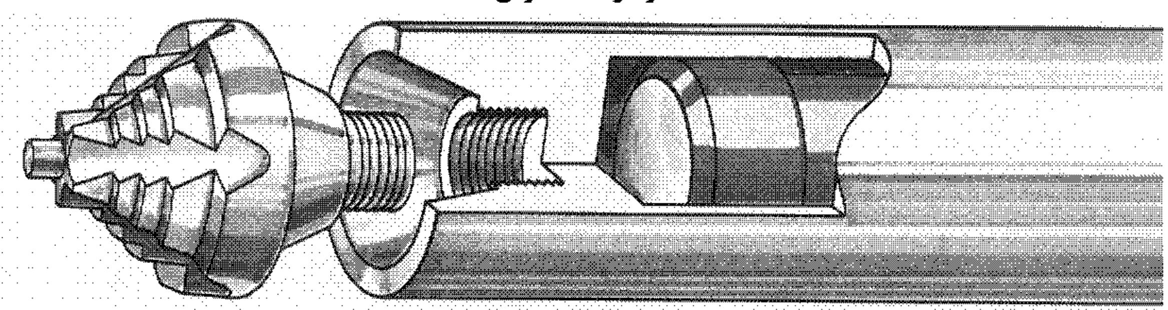
أزالة الط القديم مع أحلال ماسورة جديدة

تفاصيل الشاكوش :

يحتاج هذا الشاكوش الي غرفة مؤقتة صغيرة للدفع والأستقبال – شكل (٢٠) .



مؤخرة الشاكوش



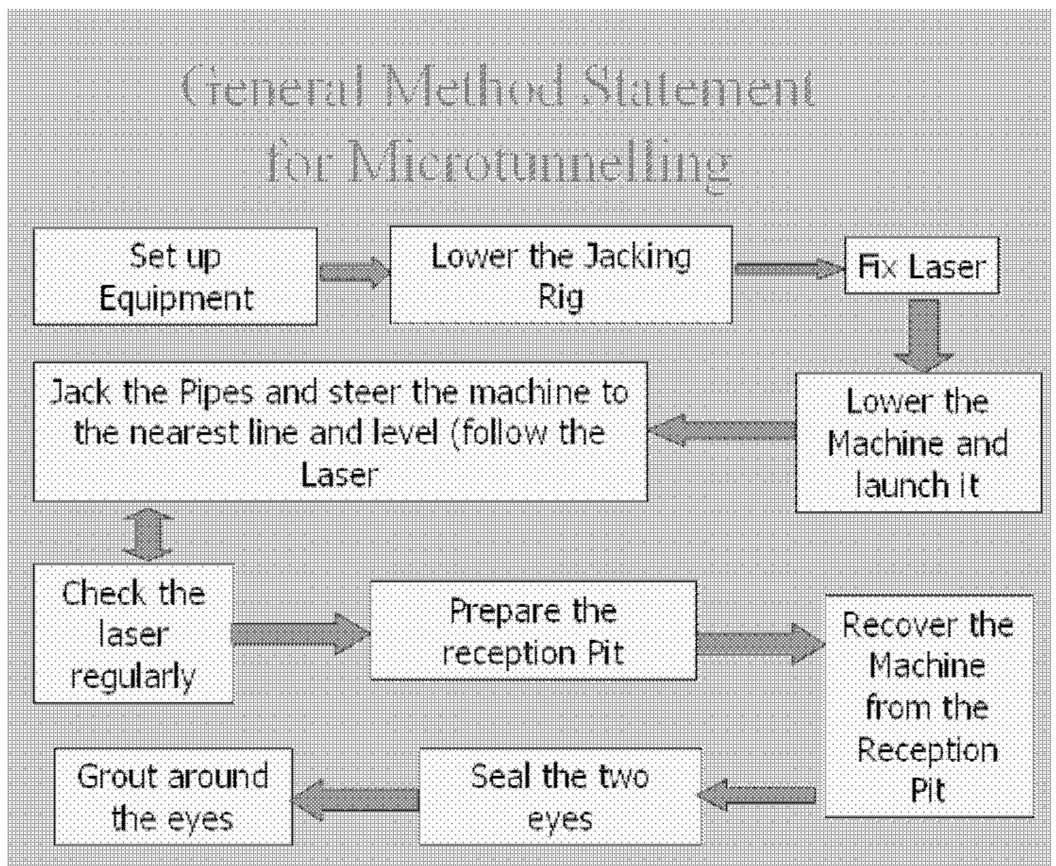
شكل (٢٠)

مقدمة الشاكوش

الأنفاق ذات الأقطار الصغيرة من الخرسانة العادية :

يطلق أسم الأنفاق الصغيره علي الأنفاق ذات القطر أقل من ٣ متر . و الأنفاق ذات القطر ١ – ١,٥ متر يمكن أن تصنع قطعها الخرسانية Segments من الخرسانه العادية مع ضرورة الأهتمام بصناعة الخرسانة للحصول علي مقاومة عالية بالأضافة الي أستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات . أما بالنسبه الي الأقطار الأكبر فيستخدم الأجزاء الخرسانية المسلحة كما سبق .

و في حالة الأطوال البسيطة (حتي طول ١,٥ كم) فأنه يمكن أستخدام ماكينة نصف آليه Simi Mechanized حيث تكون أكثر أقتصادا – شكل (٢١) .

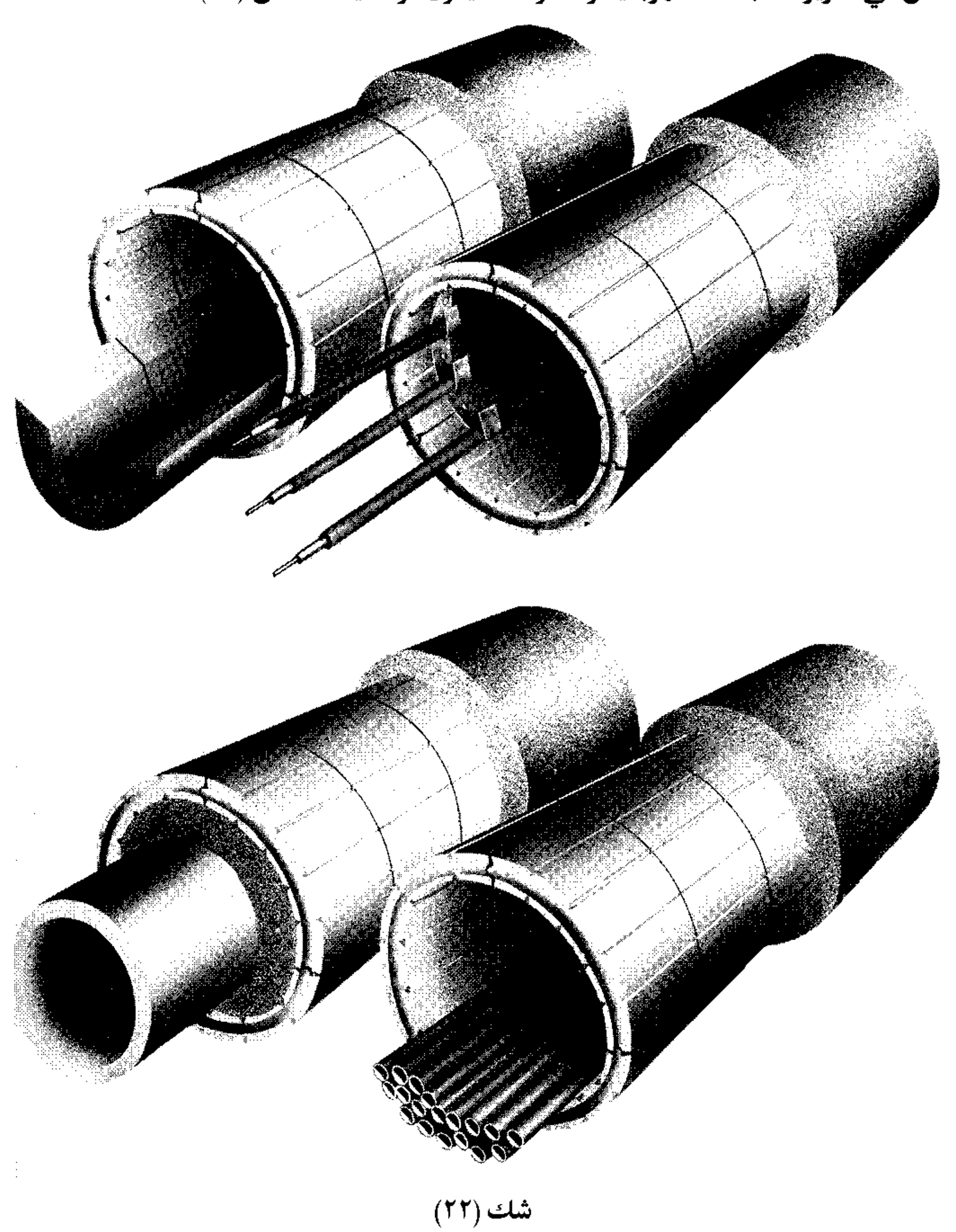


شكل (٢١)

طريقة تنفيذ النفق

أستخدامات النفق :

يستخدم النفق في تمرير الكابلات الكهربائية وخطوط التليفون أو المياه – شكل (٢٢) .



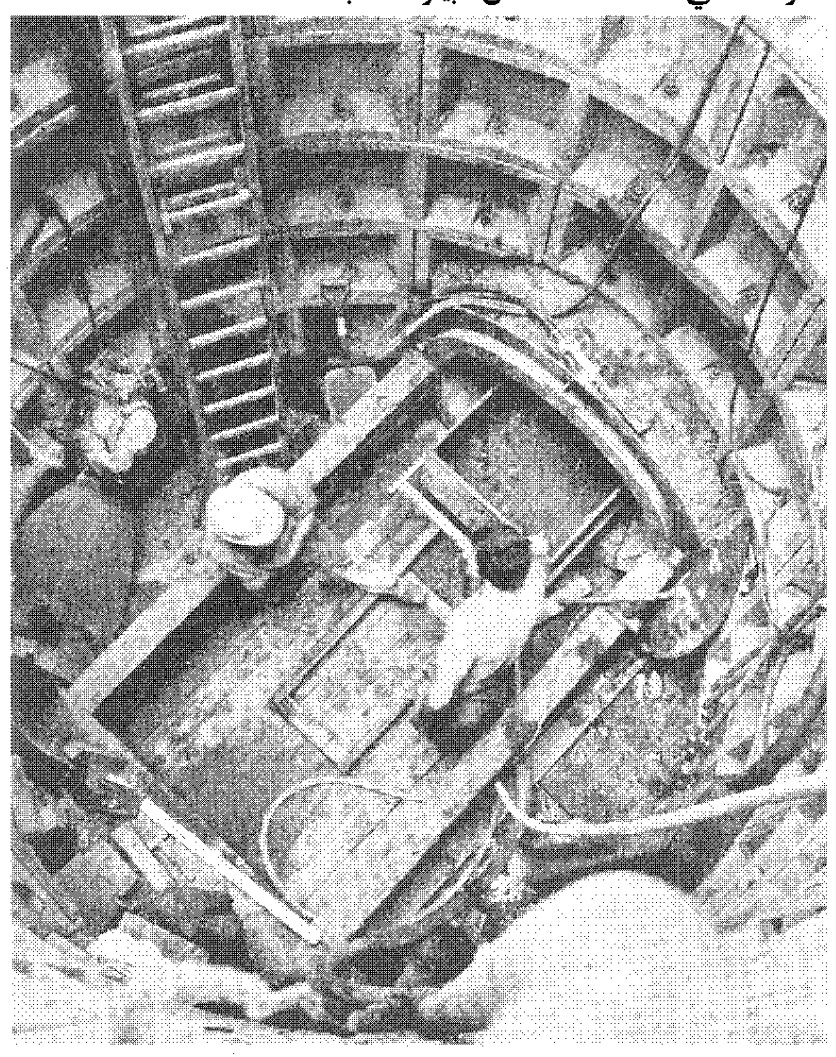
شك (٢٢)

أستخدامات النفق

مكونات النفق :

١ – غرفه التشغيل : Working Chamber

تنفذ غرفه التشغيل باستخدام الستائر المعدنيه أو الحلقات الخرسانية أو أي نظام لصلب جوانب الحفر . كما يمكن أن تنشأ بياره من الخرسانه المسلحه أو القطع الخرسانية سابقة الصب – شكل (٢٣) ، بقطر يناسب حجم المعده المستخدمه و ذلك في حاله الأستفاده من البياره مستقبلا .



شكل (٢٣)

غرفة البداية (غرفة التشغيل) منفذة بالقطع الخرسانية سابقة الصب

٢

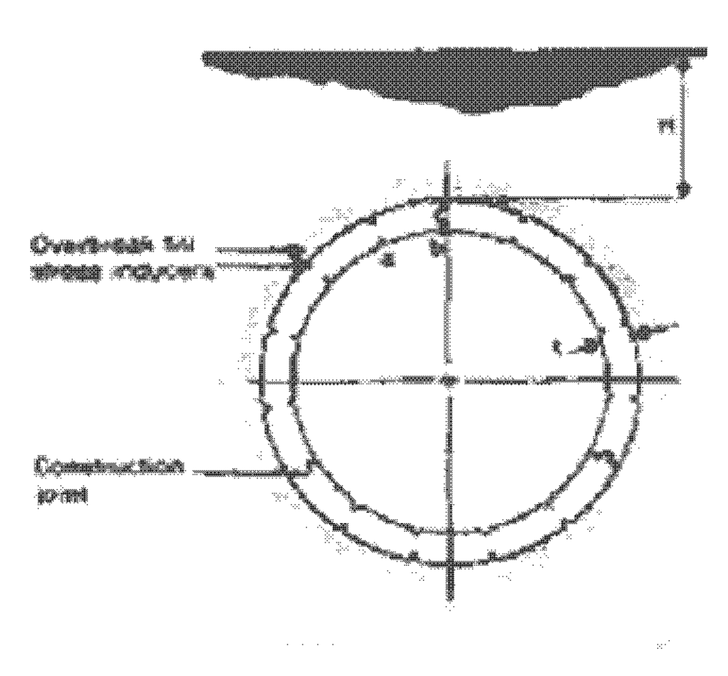
- <u>جسم النفق :</u>

يتكون جسم النفق من أجزاء Segments من الخرسانية العادية شكل (٢٤) . يتجمع عدد من هذه الأجزاء لتكون الحلقه الدائرية - تصنع هذه الأجزاء الخرسانيه بتجويف من جانب و بروز من الجانب الآخر لأحكام ترابط الأجزاء و الحلقات . تترابط الأجزاء و الحلقات بدون مسامير و بدون حلقات مطاطية لمقاومه الرشح .

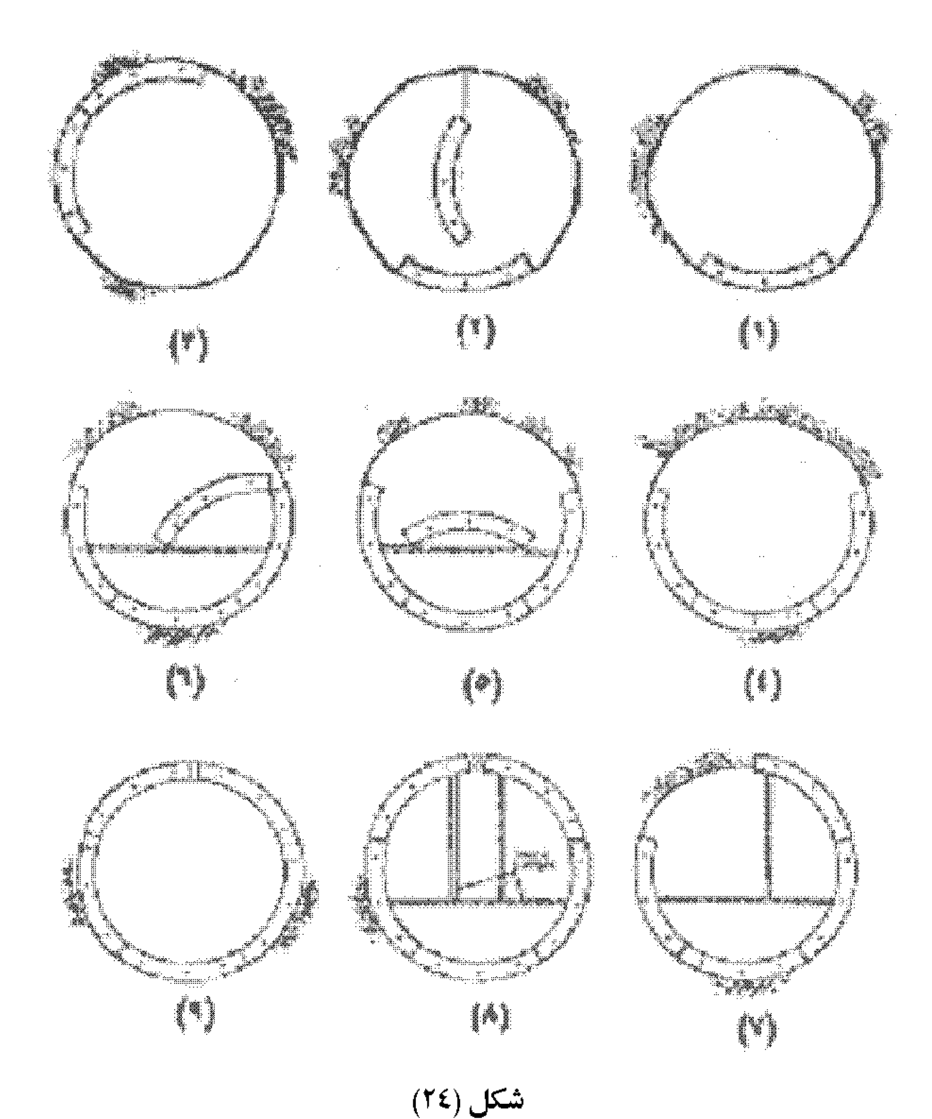


شكل (٢٤)

تصنيع الأجزااء الخرسانية بالموقع باستخدام فرم معدنية عادية



النفق بعد تركيب الحلقات



شكل (٢٤)

تركيب الحلقات الخرسانة العادية

<u>مقاسات الحلقات :</u>

أذا كان قطر النفق ١ متر عدد الأجزاء الخرسانية ٣ سمك البدن ٦٧ مم

١,٢متر عدد الأجزاء الخرسانية ٣ سمك البدن ٨٠ مم

١,٣ متر عدد الأجزاء الخرسانية ٣ سمك البدن ٨٩ مم

طول الحلقة = ٦٠ سم .

يمكن تصنيع الأجزاء الخرسانية بموقع العمل علي أن تراعي كل الواصفات الفنية في عملية التصنيع .

٣ - التبطين الداخلي :

يتم أختيار التبطين الداخلي تبعا للغرض المطلوب من النفق .

١ - التبطين بالطوب الأزرق : و هذا النوع من التبطين يصلح فقط لأنفاق الصرف الصحي . تبني الكسوة من الطوب الأزرق باستخدام مونة أسمنتية مقاومة للكبريتات و علي أن تملأ العراميس بماده مقاومه للأحماض (كما ذكر من قبل) .

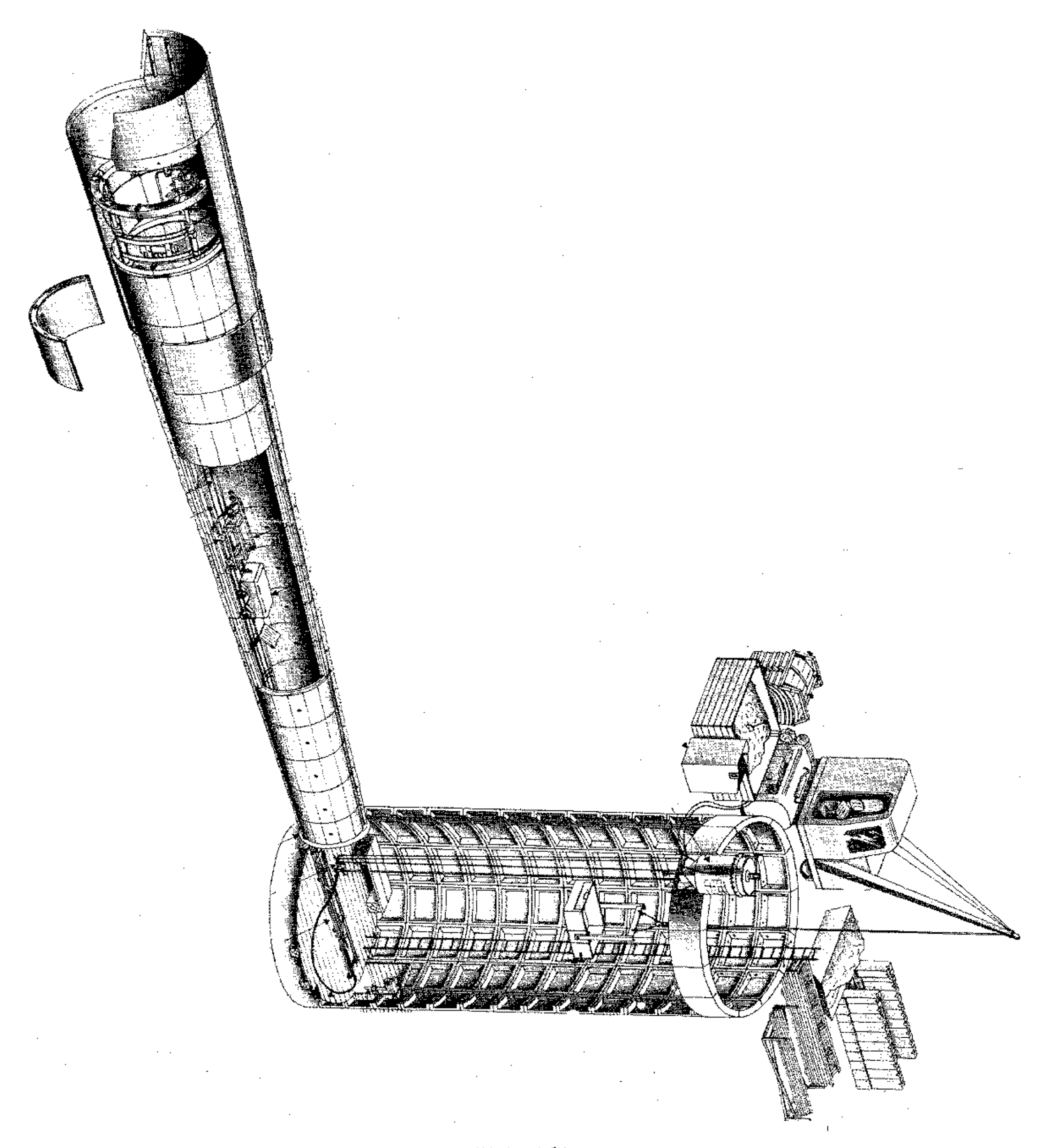
٢ - التبطين بالبلاط الفخاري (السيراميك) : و هو بلاط مصنوع من الطفلة و هو مقاوم جيد للأحماض .

٣ - التبطين بالقيشاني : و يستخدم في أنفاق الكابلات .

معدات أنشاء النفق :

١ - الدرع Shield :

و هو قاطع التربة و هو عبارة عن أسطوانة حديدية قطرها الداخلي = القطر الخارجي للنفق +١٠ سم . مثبت داخل الدرع الروافع الهيدروليكية - كما تتم عملية الحفر و تركيب الحلقات من داخل هذا الدرع - شكل (٢٥) .



شكل (٢٥)

الدرع والحفارة وجميع مشتملات معدات أنشاء النفق

٢ - الروافع الهيدروليكية Hydraulic Jacks :

يتراوح عدد هذه الروافع من ٣ – ٦ روافع قدرة كل منها ١٢ طن و تعطي مسافه ٧٠ سم عند الأنفراج . تثبت هذه الروافع في الدرع و طرفها الآخر علي حلقه دائرية حديديه قوية Diaphragm التي ترتكز بدورها علي آخر آخر حلقة تم تركيبها – شكل (٢٦) .

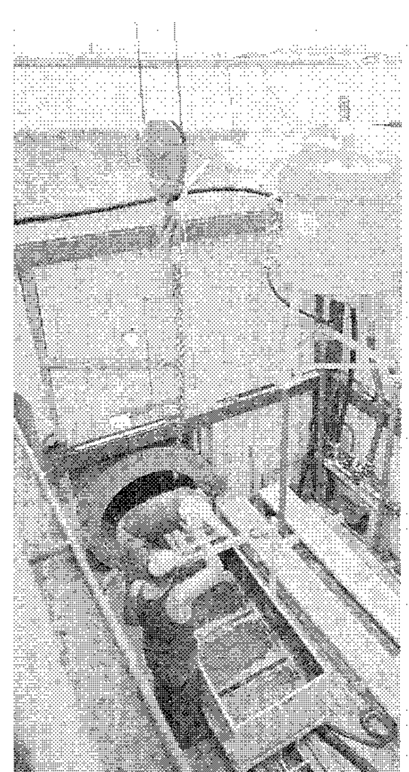
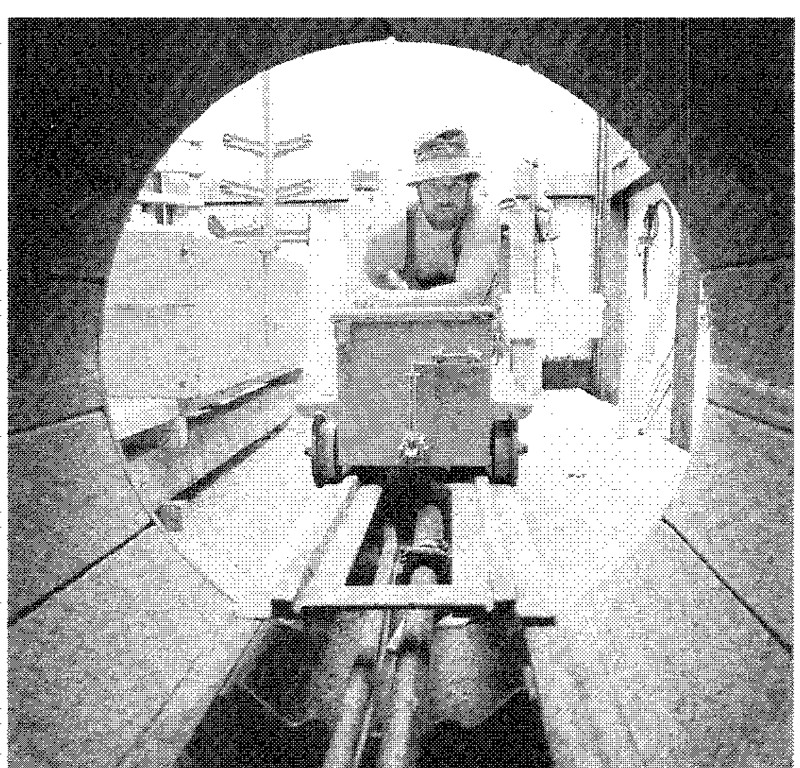


شكل (٢٦)

الدرع ومقدمة الحفارة مع الروافع الهيدروليكية

٣ – عربات الأترية Muck Wagons :

تصنع هذه العربات من الحديد و تسير علي قضبان من الحديد أيضا . تقوم هذه العربات بنقل الأتربه الي خارج النفق كما تنقل الأجزاء الخرسانية الي داخل النفق كما تقوم بنقل العاملين والمهمات لداخل النفق . تصمم بمقاسات تناسب قطر النفق – شكل (٢٧) .

شكل (٢٧)

عربة نقل الأتربة

٤ – ماكينة الحقن :

هي عبارة عن وعاء أسطواني محكم الغلق و يتحمل الضغوط العاليه مزود بغطاء – يتم وضع مواد الحقن (زلط مقاس ٣مم Pea Grave) في هذا الوعاء . يمتد خرطوم قطره ٢" مزود بنهاية معدنية (ماسورة) من الوعاءالي داخل النفق الي مكان الحقن – يقوم عامل الحقن بوضع نهاية الخرطوم داخل ثقب الحقن ثم أعطاء أشارة تليفونية من داخل النفق الي عامل تشغيل الضغط في خارج النفق لتشغيل ضاغط الهواء . بعد أمتلاء الفراغ خارج النفق بالزلط و عدم قبول مزيد من الحقن – تعطي الأشاره الي الخارج لأيقاف الضغط ثم ينزع الخرطوم من ثقب الحقن . تتم عمليه الحقن قبل ٤ حلقات من آخر حلقة تم تركيبها علي أن يبدأ الحقن من أسفل الي أعلي . يجهز لباني أسمنت مقاوم للكبريتات ليتم حقنه بنفس طريقة حقن الزلط ليتكون غلاف من الخرسانة من الخارج بسمك حوالي ٦ سم ويملأ الفراغ و يزيد من قوه النفق بالأضافة الي مقاومة مياه الرشح – شكل (٢٨) .



شكل (٢٨)

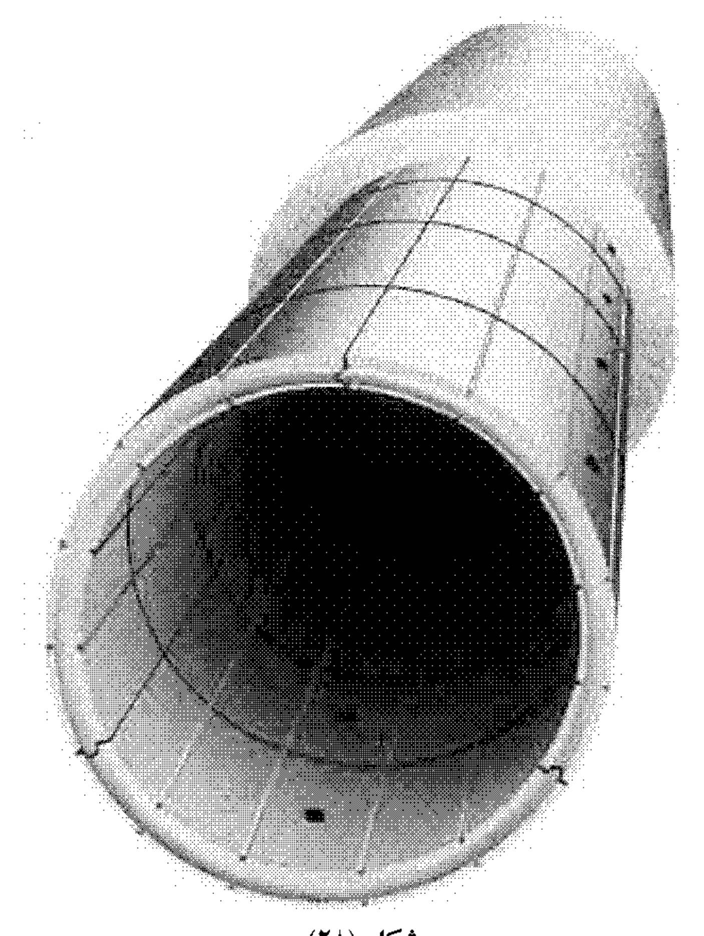
حقن النفق

<u>ملحوظة :</u>

مهمات وأدوات الحقن – راجع باب أساسات الكباري .

٥ – آلة السحب الكهربائية :

ووظيفتها سحب عربات الأتربة من داخل النفق الي الخارج كما تقوم بسحب نفس العربات الي الداخل و هي محملة بالأجزاء الخرسانيه . يقوم أحد العمال بتشغيلها عند أعطاء الأشارة بعد أمتلاء العربات .



شكل (٢٨)

طبقة الحقن و شكل الحلقات بعد حقنها

٦ – الرافعة الهوائية :

تعمل هذه الرافعه بضغط الهواء و تقوم برفع الأجزاء الخرسانية و المساعدة في التركيب . و في الأنفاق الأصغر يمكن لعامل التركيب بتركيب هذه الأجزاء علي يديه و مستعملا رافعه حديد بسيطة .

٧ – جهاز الليزر :

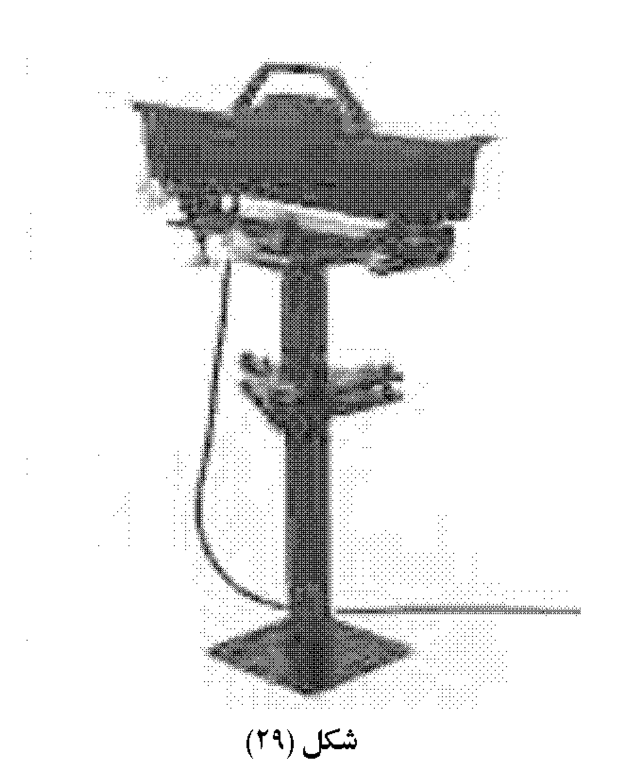
يقوم بتوجيه الأشعة و التي تم ضبطها علي الميل المقرر . كما توجد عند الدرع الأمامي لوحة أستقبال الأشعه ليمكن لعامل القياده من ضبط الدرع علي المسار تماما – شكل (٢٩) .

ملاحظات :

١ – في حالة وجود النفق تحت منسوب مياه الرشح يتم أستخدام الهواء المضغوط . و في بعض الحالات تكون التربة طينية متماسكة تنفذ المياه بشكل بسيط جدا – فعلي المهندس في هذه الحالة تقدير ما أذا كان سيحتاج الي الهواء المضغوط أم أن معدل التركيب السريع يمكن أن يلاشي تأثير مياه الرشح مع أمكان التخلص من أي مياه بسيطة متجمعة بالطلمبات السطحية .

٢ – في الأنفاق ذات القطر الصغير – يقوم عامل واحد بالعمل في الداخل – و عليه قيادة الماكينة و عملية الحفر و تعبئة العربات و أنزال الأجزاء الخرسانية و تركيبها و كذلك عمليه الحقن . يقوم عامل آخر بتشغيل آله السحب الكهربائية و ضغط الهواء الي داخل النفق . كما يقوم عامل آخر بتشغيل الرافعه لرفع الأتربه و تفريغها بالسيارات و كذلك أنزال الأجزاء الخرسانيه علي العربات . ثلاث عمال فقط بالأضافة الي المهندس يمكنهم القيام بهذا العمل و بمعدل ٧ حلقات × ٦٠ سم طول الحلقة = ٤,٢ متر طولي / يوم .

٣ – الطول المناسب للنفق ٢٠٠ متر– و في حالة زيادة طول النفق عن ذلك يمكن أنشاء النفق بطول ٢٠٠ متر ثم القيام بأنشاء نفق آخر من الجهه الأخري حتي يتم التلاقي و تنشأ بياره في هذه الجزء لأخراج الماكينتين بدون الدروع . يتم عمل تبطين لهذا الجزء من الأجزاء الخرسانية و نهو الحقن و كافة الأعمال اللازمة.



شكل (٢٩)

جهاز الليزر لضبط الميل والأتجاه في المواسير

<u>خطوات العمل :</u>

١ – تنشأ البياره في بداية النفق و يتم حقن الجزء الخارجي للبياره مكان خروج النفق أو تأمين عدم رشح المياه عند بداية العمل بواسطة آبار جوفية أو ٠٠٠ .

٢ – يتم تنزيل معدات النفق داخل البياره ثم يضبط أتجاه الدرع و الميل التصميمي .

٣ – و ضع أرتكاز خلف ماكينة الأنفاق ثم التقدم للأمام حتي أختراق الدرع لحائط البيارة.

٤ – عند الوصول الي أول النفق – نبدأ التبطين بالأجزاء الخرسانية و يستمر الحفر و خروج الناتج الي الخارج مع توالي التبطين . و يراعي معالجة أتصال أول النفق مع حائط البياره ضد مياه الرشح .

٥ – ترتكز الروافع علي آخر حلقة تم تركيبها و نبدأ في التشغيل – في نفس الوقت يقوم عامل الحفر بالحفر داخل الدرع و ألقاء الأتربه في عربات الأتربه حتي كامل أنفراج الروافع– شكل (٣٠) .

٦ – يخلق أنفراج الروافع مسافة تكون أكبر من طول الحلقة (طول الحلقة ٦٠ سم ومسافة أنفراج الروافع = ٧٠ سم) . عند أنكماش الروافع يمكننا تركيب الحلقة الخرسانية بالكامل .

٧ – تأتي العربات محمله بالأجزاء الخرسانية الي موقع التركيب . يتم تركيب أول جزء خرساني من أسفل أولا ثم الجزء الجانبي الأول و يقوم عامل التركيب بسند هذا الجزء بظهره ثم يقوم بتنزيل الجزء الثالث . يتم ضبط الجزئين الجانبيين مع بعضهما. عند أستئناف العمل مره أخري تقوم الروافع بالأرتكاز علي آخر حلقة – الأمر الذي يعمل علي أنضغاط الأجزاء و الحلقات الخرسانية بقوه مع بعضها .

٨ – يبدأ في عملية الحقن كما ذكر .

٩ – تبدأ عملية التبطين بعد الأنتهاء من أنشاء النفق .



شكل (٣٠)

أعمال الحفر داخل النفق الصغير



أعمال التوجية للروافع أثناء العمل

شكل (٣٠)

الأنفاق عند التقاطعات

الأنفاق عند التقاطعات

SUBWAYS

عند ألتقاء عدة طرق في مكان واحد ، تحدث الأختناقات المرورية ، ولعدم أعاقة المرور وتيسير حركة السير للسيارات ، يلجأ المهندسون الي الأنفاق لتفادي تقاطعات الطرق وأزدحام المرور .

ويمكن تنفيذ هذا النفق بالطرق التالية :

١ – باستخدام الستائر المعدنية Sheet Piles .

٢ – باستخدام حوائط الديافرام Diaphragm Walls .

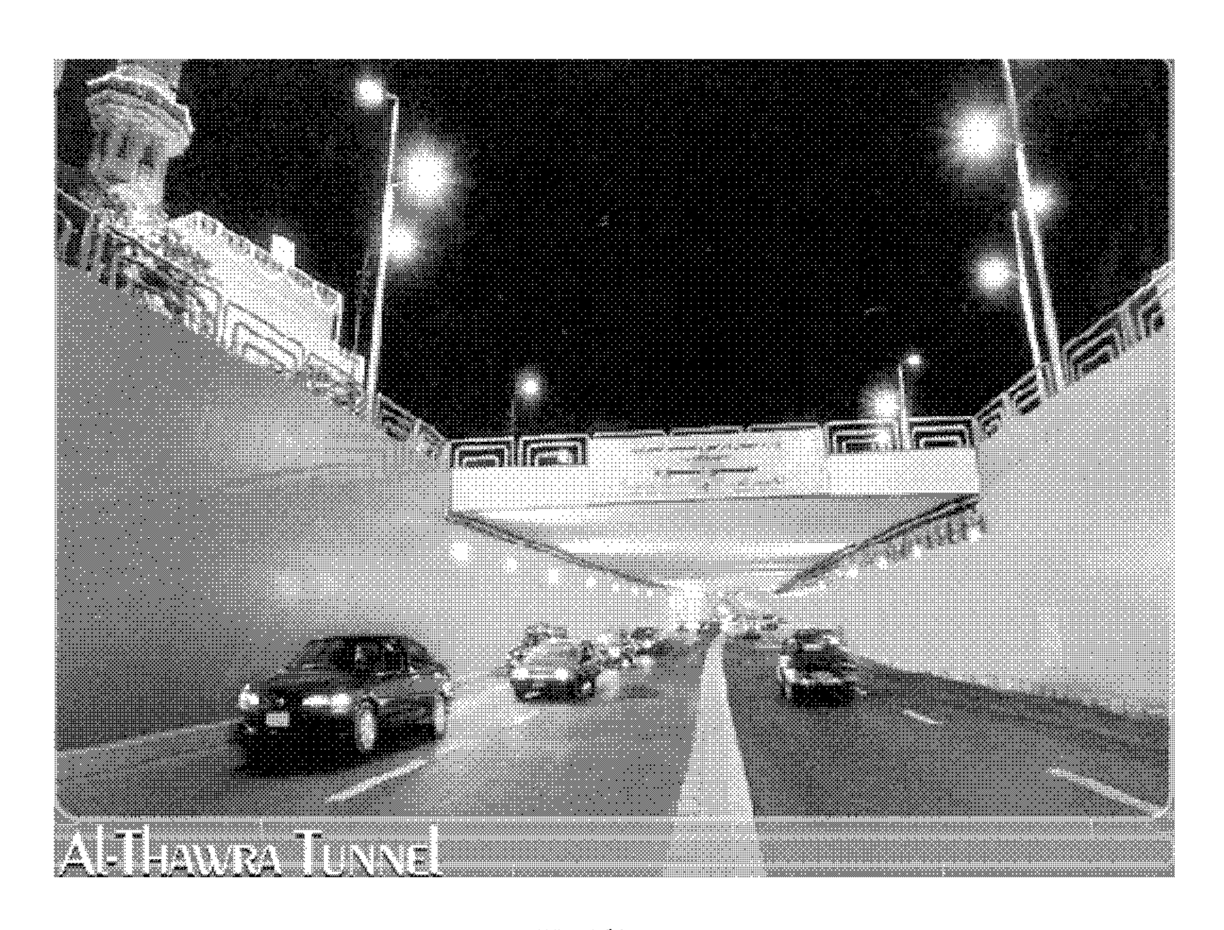
٣ – باستخدام الخوازيق المتماسة Secant Piles .

يمكن للنفق أن يكون تحت سطح الأرض مثل نفق العروبة – شكل (١) ونفق الثورة – شكل (٢) ونفق الميرغني بالقاهرة – شكل (٣) و نفق الشيراتون ونفق وادي النيل بالجيزة .



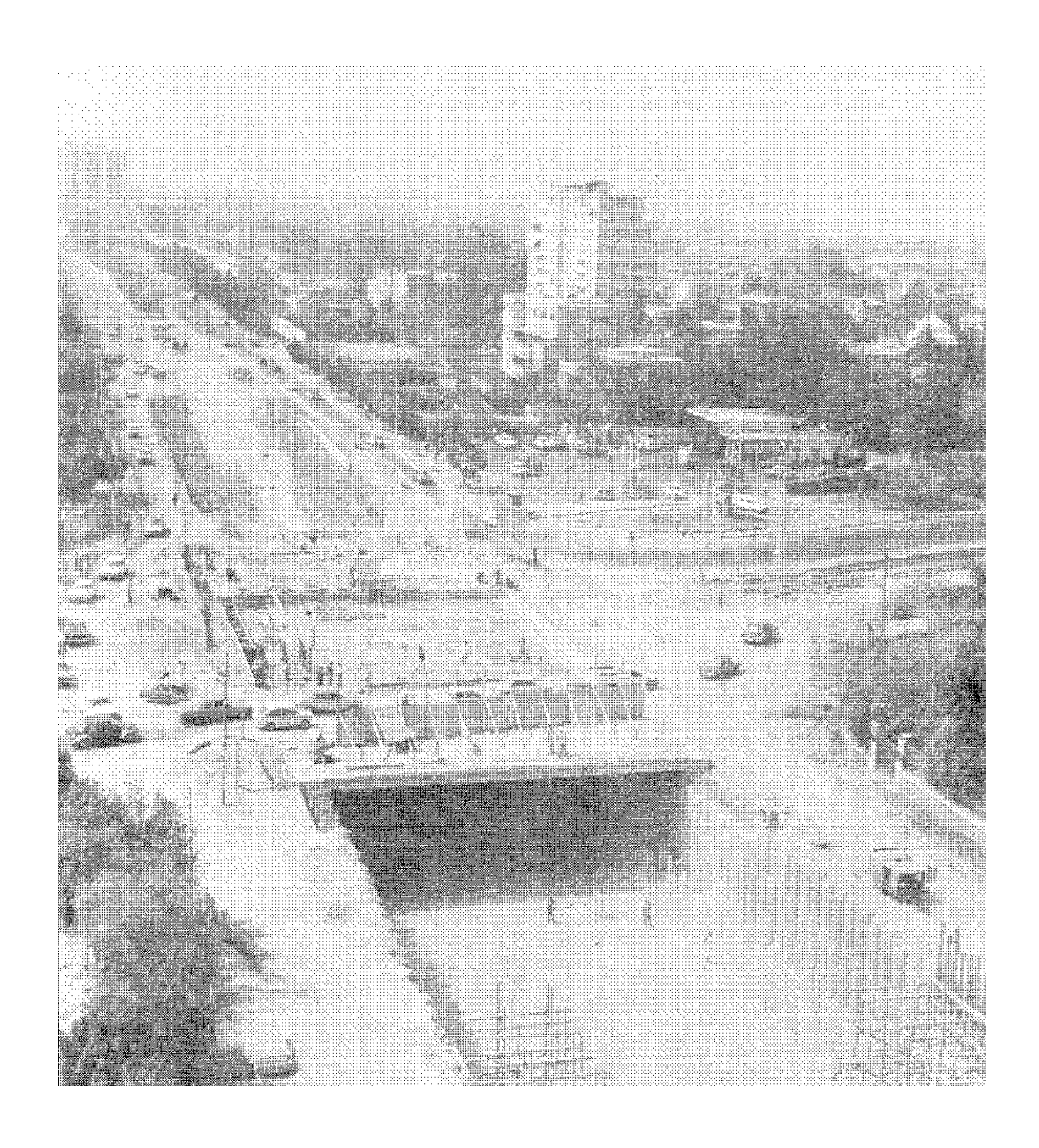
شكل (١)

نفق العروبة



شكل (٢)

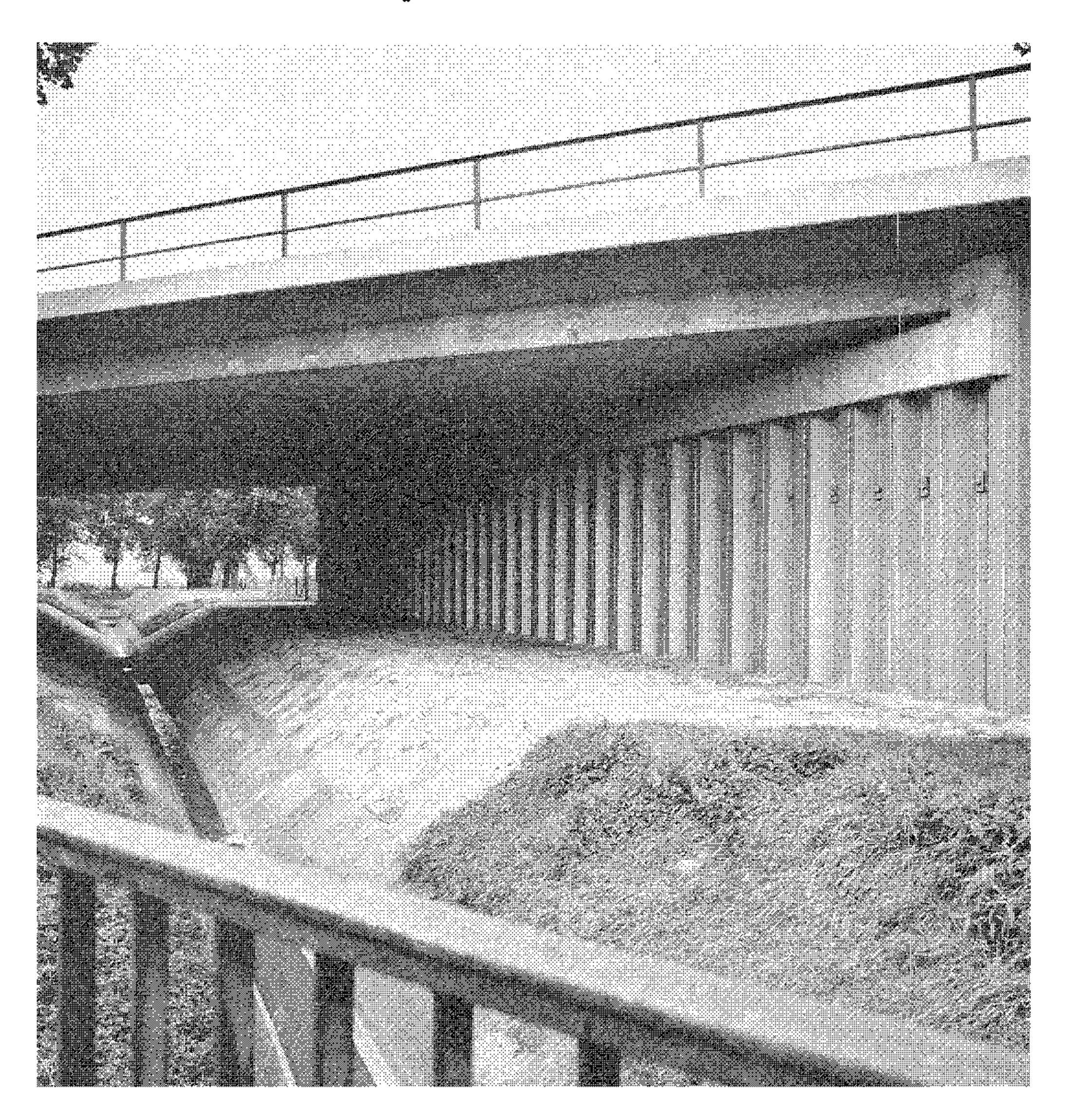
نفق الثورة– القاهرة



شكل (٣)

نفق الميرغني – مصر الجديدة –القاهرة أثناء الأنشاء

كما يمكن أن يعلو فوق الأرض لحل أي تقاطع مروري أو مجري مائي – شكل (٤)



شكل (٤)

النفق يعلو سطح الأرض – الحائط الساند من خوازيق متماسة ومشدودة من الداخل بشدادات سابقة الأجهاد



شكل (٤)

النفق يعلو سطح الأرض – الحائط الساند من خوازيق متماسة ومشدودة من الداخل بشدادات سابقة الأجهاد

طريقة التنفيذ :

١ – يخطط محور النفق ، ثم محاور حوائط الديافرام . يتم تحويل أي مرافق تعترض الحفر .

٢ – تنفذ كمرات الدليل ثم حوائط الديافرام – شكل (٦) . راجع باب حوائط اليافرلم لمزيد من التفصيل . يجب تزويد أشاير تسليح في كل حائط عند منسوب بلاطة الأرضية مماثلة لحديد الأرضية العلوي والسفلي .

٣ – يبدأ تجهيز الطريق العلوي فوق قمة حوائط الديافرام ، وذلك بالحفر بين حوائط الديافرام الموجودة علي جانبي الطريق حتي منسوب قاع السقف .

٤ – يتم صب خرسانة عادية أسفل منسوب السقف بقيمة ١٠ سم لرص حديد تسليح السقف في مكان نظيف . هذه الطريقة توفر أي شدات مسلحة مطلوبة للسقف . فضلا عن أن حوائط الديافرام سوف ترتكز علي السقف مما يقلل من قطاعها الخرساني .

٥ – بعد أستكمال العمل في السقف يتم الصب ثم المعالجة .

٦ – يمكن بدء الحفر داخل النفق حسب القطاع التصميمي والأعداد لصب الأرضية .

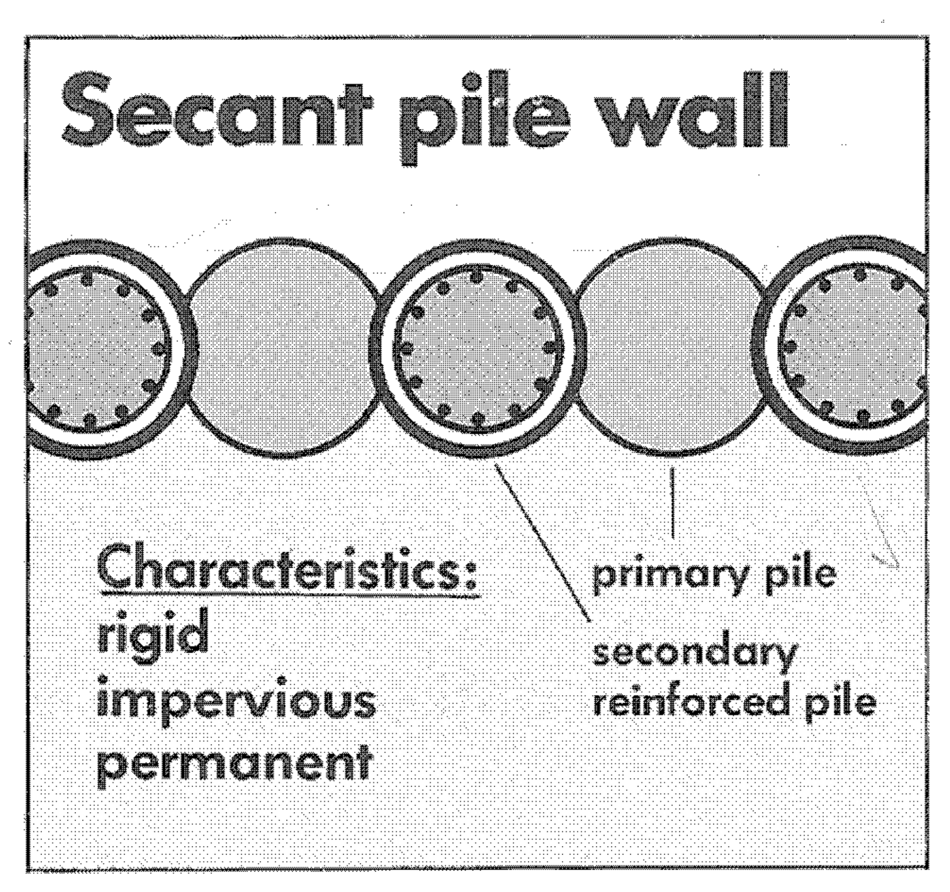
٧ – يتم أزالة الغطاء الخرساني Cover من سطح حائطي الديافرام عند منسوب الأرضية ومد أشاير التسليح الي داخل قطاع الأرضية.

٨ – صب فرشة خرسانة عادية سمك ١٠ سم أسفل الأرضية (نظافة) ثم رص حديد التسليح للأرضية .

٩ – صب الأرضية الخرسانية المسلحة ثم المعالجة ضد رشح المياه .

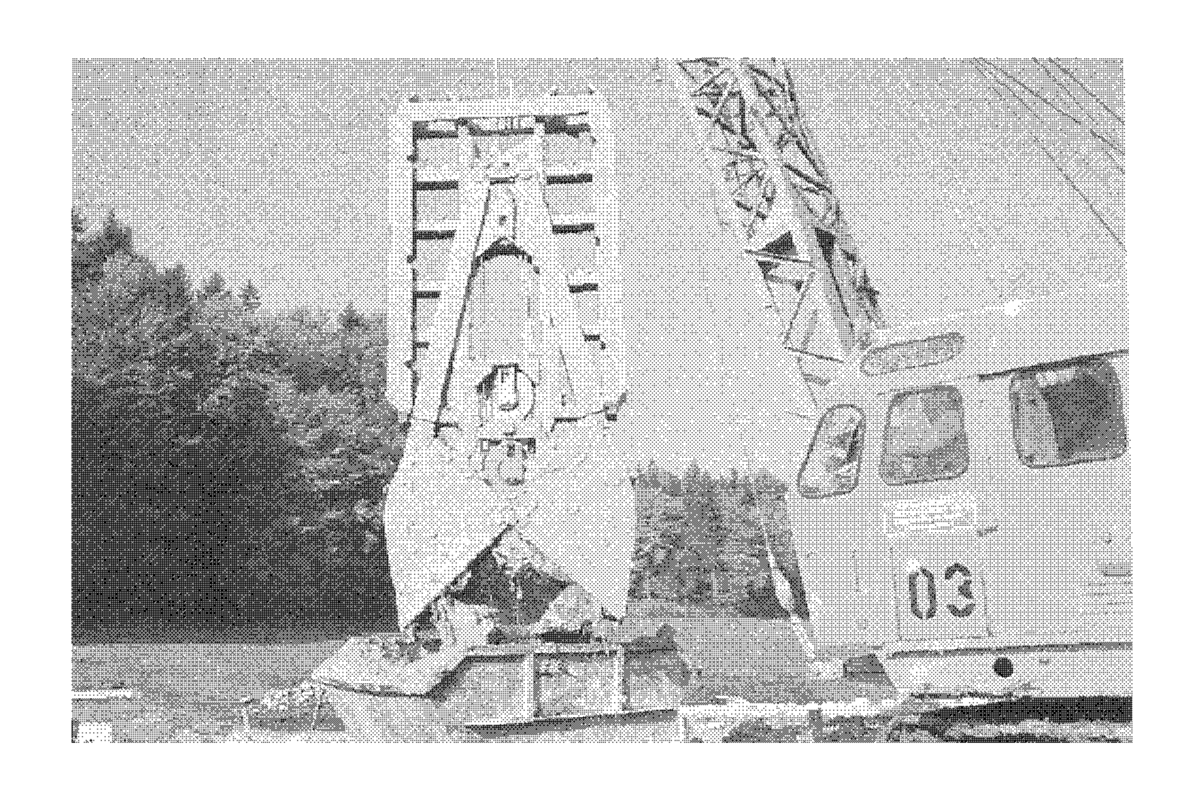
١٠ – تنفيذ باقي البنود مثل العزل ومقاومة الرشح والتشطيبات ٠٠٠.

يمكن أن تكون حوائط الديافرام من الخوازيق المتماسة – شكل (٥) . كما يمكن أن تكون كل الخوازيق بقطاع مسلح .



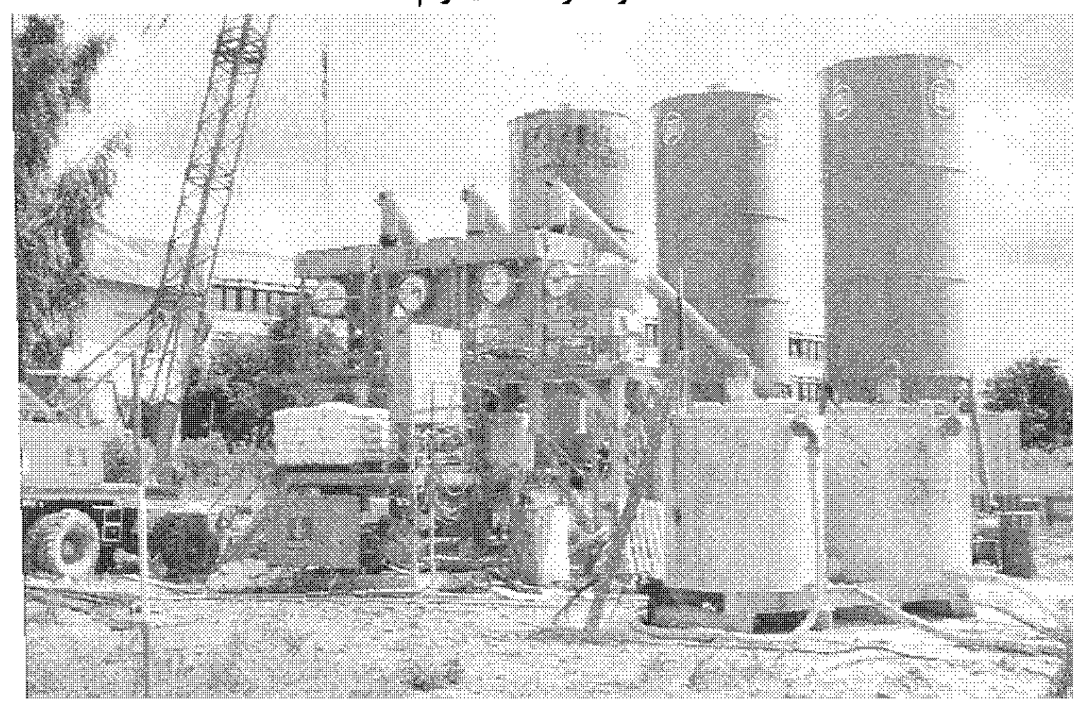
شكل (٥)

قطاع يظهر الخوازيق المتماسة



شكل (٦)

حفارة حوائط الديافرام



شكل (٦)

محطة خلط البنتونايت – يمكنها ضخ خليط البنتونايت بمعدل ٥٠ متر مكعب / الساعة في أثناء حفر الحوائط

المراجع

١. مشروع مترو أنفاق القاهرة .

٢. كتالوجات الشركات المنفذة .

٣. مشروع أنفاق المجاري الرئيسية بالقاهرة الكبري .

٤. مشروع أنفاق القاهرة الكبري .

٥. مشروع نفق الشهيد أحمد حمدي .

٦. مؤتمر الأنفاق بالقاهرة ١٩٩٤ .

٧. كتالوجات المصانع .

٨. معهد التدريب الفني والمهني – شركة المقاولون العرب .

٩. هندسة التشييد لمرافق المياه والصرف الصحي مهندس / محمود حسين المصيلحي .

الفهرس